DOCUMENTO DE REFERÊNCIA

PROPOSTA DE LIMITES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE FONTES FIXAS, PARA FÁBRICAS EXISTENTES, DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO

Associação Brasileira do Alumínio - ABAL
15/09/2010

Sumário

Anexos

1 INTRODUÇÃO

Este documento constitui a contribuição da Associação Brasileira de Alumínio – ABAL - para o processo de estabelecimento, pelo CONAMA, dos limites máximos de emissões atmosféricas para fontes fixas, aplicáveis a fábricas existentes de alumínio primário, envolvendo os processos de calcinação de alumina e de produção de alumínio primário com as tecnologias de redução de alumina em cubas eletrolíticas com anodos Soderberg e anodos pré-cozidos, da indústria brasileira de alumínio.

O restante deste capítulo descreve aspectos da Resolução CONAMA nº 382 que fixaram os limites máximos para as emissões atmosféricas de fontes fixas, de fábricas novas, para a indústria Brasileira de Alumínio Primário, e também quais as fontes de emissão que serão abordadas neste documento.

O Capítulo 2 fornece uma visão geral da indústria brasileira de Alumínio Primário, identifica as fábricas existentes e descreve as operações de produção e as tecnologias de controle das emissões.

No Capítulo 3, é mostrado o desempenho de cada tipo de tecnologia para a fabricação de alumínio primário. Como cada fábrica existente utiliza metodologias diferentes para a amostragem de suas emissões, os fatores de emissão desenvolvidos pela Environmental Protection Agency dos Estados Unidos - US-EPA - são usados como referência.

No Capítulo 4, são desenvolvidos modelos das plantas existentes onde são descritas as opções de controle de cada tipo de tecnologia usada para a fabricação de alumínio primário existente no Brasil e ainda são discutidas as opções para o controle e monitoramento de emissões.

No Capítulo 5, são mostrados os impactos das opções identificadas no Capítulo 4 no consumo de energia de cada tipo de fábrica.

No Capítulo 6, são estimados os custos para controle e monitoramento das emissões.

1.1 Resolução Conama no. 382

Requisitos legais:

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA - estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas novas, através da RESOLUÇÃO CONAMA N° 382, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2006.

Os limites de emissão para fábricas novas de alumínio primário foram fixados no ANEXO IX - LIMITES DE EMISSÃO PARA POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE PROCESSOS DA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO.

No Art. 3º da Resolução CONAMA N° 382, foram adotadas definições de termos e definições referentes às unidades e forma obrigatória de expressão de resultados que serão transcritas neste documento no Anexo I – Definição de termos, unidades de medida e forma obrigatória de expressão de resultados. Alguns termos adicionais são definidos para melhor compreensão das informações deste documento.

1.2 Seleção das fontes de emissão referidas neste documento

Este documento trata das mesmas fontes de emissão reguladas pela Resolução CONAMA Nº 382/2006, que representam as principais emissões atmosféricas do processo de produção de alumínio primário, abordando os processos de calcinação da alumina e de redução desta a alumínio metálico, utilizando-se as tecnologias de cubas eletrolíticas com anodos Soderberg e de anodos pré-cozidos (Prebaked), que incluem o forno de cozimento de anodos.

Não são abordados os outros processos normalmente existentes em fábricas de alumínio: processos de geração de calor, fábrica de pasta eletródica, em razão das emissões destas unidades serem pouco significativas quando comparadas com as emissões do processo de redução de alumina. As técnicas empregadas no controle de emissões das demais fontes e no seu monitoramento são bem conhecidas, ou seus limites de emissão são definidos em outros anexos da Resolução CONAMA Nº 382/2006.

2 A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO

2.1 Perfil da indústria

Em dezembro de 2009, a indústria brasileira de alumínio primário era composta por sete fábricas instaladas, sendo que uma delas, a Valesul Alumínio S.A., encontrava-se desligada em razão do alto custo de produção[1].

A Figura 2.1 mostra o volume de produção destas fábricas em 2009. Nesta figura, a indústria brasileira de alumínio primário foi dividida em fábricas com volume de produção acima e abaixo de 120.000 tpa de alumínio. São identificadas, ainda, as tecnologias empregadas no processo de redução de alumina: cubas com anodos pré-cozidos (Prebaked), ou anodos cozidos *in-situ* (Soderberg).

Como pode ser observado, em 2009, 87% da produção brasileira de alumínio primário foi gerada em fábricas com volume de produção acima de 120.000 tpa. Os demais 13% foram feitos em fábricas com volume de produção abaixo de 120.000 tpa.

2.2 Descrição geral das tecnologias utilizadas para a produção de alumínio primário

2.2.1 Tecnologia de cubas com anodos Soderberg

A Figura 2.2 mostra um diagrama simplificado de uma fábrica típica com cubas de anodos Soderberg, mostrando o fluxo de materiais.

Os principais componentes de uma fábrica de alumínio primário com tecnologia Soderberg são:

- Áreas de recepção e expedição de matérias-primas e de produtos acabados;
- Fábrica de pasta eletródica onde são preparados e misturados piche e coque para fazer briquetes, que são destinados a formar o anodo da cuba, através do cozimento *in-situ* (Soderberg);
- Redução - uma ou mais linhas de cuba onde a alumina (Al_2O_3) é reduzida para alumínio em um banho de criolita fundida (Na_3AlF_6) – Processo Hall-Heròuld;
- Fundição - unidade onde o alumínio é reaquecido e purificado, sendo suas características modificadas para atender a diferentes especificações, e

[1] Conforme informação no site da Vale: www.vale.com.br.

onde ele é moldado em formas sólidas, incluindo placas, lingotes e tarugos, ou transportado em um estado fundido;

- Área de serviços auxiliares onde estão localizados:
  - subestação – onde um retificador converte corrente alternada (AC) para a corrente contínua (CC) a ser utilizada no processo de redução;
  - sala de caldeiras para fornecimento de calor para a fábrica de pasta e preaquecimento do óleo combustível eventualmente usado na área de fundição;
  - instalações para manutenção de equipamentos utilizados no processo de produção;
  - almoxarifado para armazenamento de insumos e peças sobressalentes;
  - laboratório para controle da qualidade de matérias-primas, produtos e controle ambiental.

FIGURA 2.1 - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO POR FÁBRICA - 2009

PRODUTORES COM VOLUME > 120.000 TPA (2009)				
PRODUTORES	LOCALIZAÇÃO	TECNOLOGIA ANODOS	VOLUME (1000t)	%
CBA	ALUMINIO (SP)	SODERBERG VSS	471,3	29,6
ALBRAS	BARCARENA (PA)	PRÉ-COZIDOS	459,3	28,9
ALUMAR	SÃO LUIS (MA)	PRÉ-COZIDOS	454,0	28,5
		TOTAL	1384,6	87,0

PRODUTORES COM VOLUME < 120.000 TPA (2009)				
PRODUTORES	LOCALIZAÇÃO	TECNOLOGIA ANODOS	VOLUME (1000t)	%
ALCOA	POÇOS DE CALDAS (MG)	SODERBERG (VSS)	97,2	6,1
VALESUL	SANTA CRUZ (RJ)	PRÉ-COZIDOS	0	0
NOVELIS	ARATU (BA)	SODERBERG (VSS E HSS)	58,7	3,7
NOVELIS [(1)]	OURO PRETO (MG)	SODERBERG (HSS)	50,8	3,2
		TOTAL	206,7	13,0

OBS. (1) – A PRODUÇÃO DAS FÁBRICAS DE POÇOS DE CALDAS, ARATU E OURO PRETO FOI REDUZIDA EM 2008. A FÁBRICA DA VALESUL FOI DESLIGADA. PARA EFEITO DE COMPARAÇÃO FOI USADA A MÉDIA DE PRODUÇÃO DE 2003 A 2006 PARA AS FÁBRICAS QUE CONTINUAM OPERANDO.

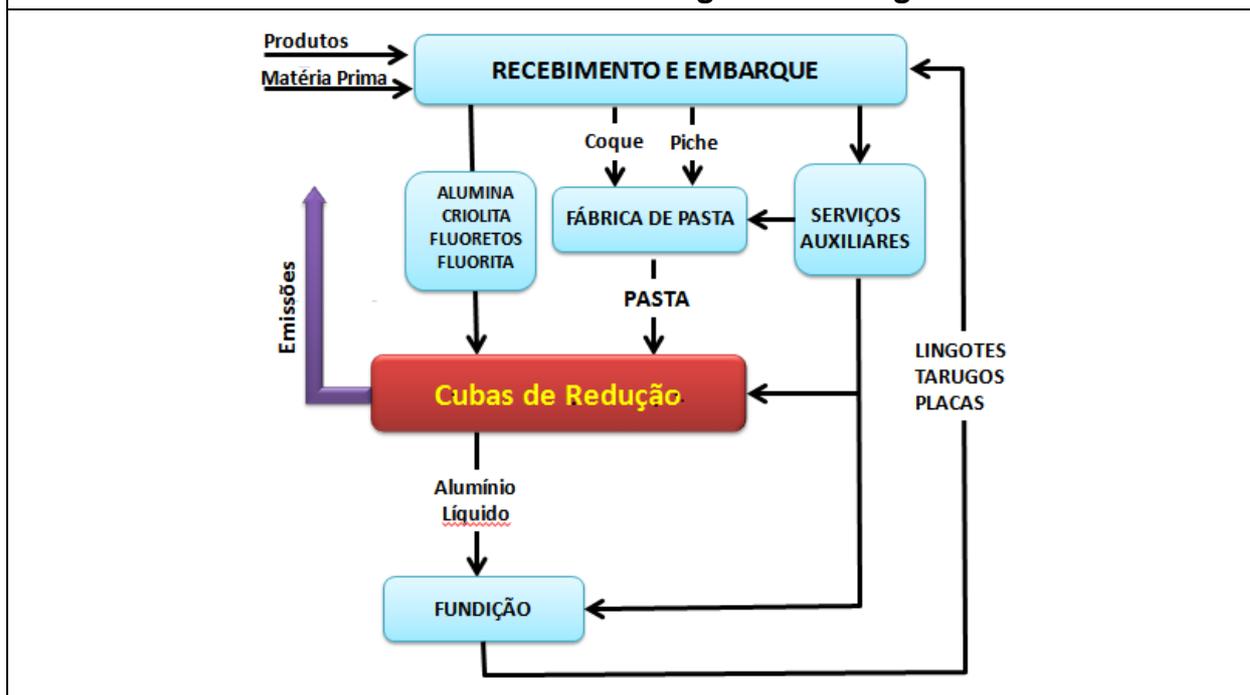
Uma linha de cubas para redução de alumina é normalmente instalada em um ou dois longos e estreitos edifícios chamados sala de cubas, ou sala de fornos. Uma linha de cubas é composta por de uma série de cubas eletrolíticas ligadas eletricamente em série e conectadas ao sistema de retificação de corrente, de onde recebe o fornecimento de energia elétrica a ser usado no processo eletrolítico.

As cubas são colocadas lado a lado, ou uma após a outra, em uma ou mais fileiras, na sala de cubas.

As cubas geram grande quantidade de calor e, consequentemente, as salas de cubas são ventiladas para manter condições de trabalho adequadas e para proporcionar o funcionamento das cubas.

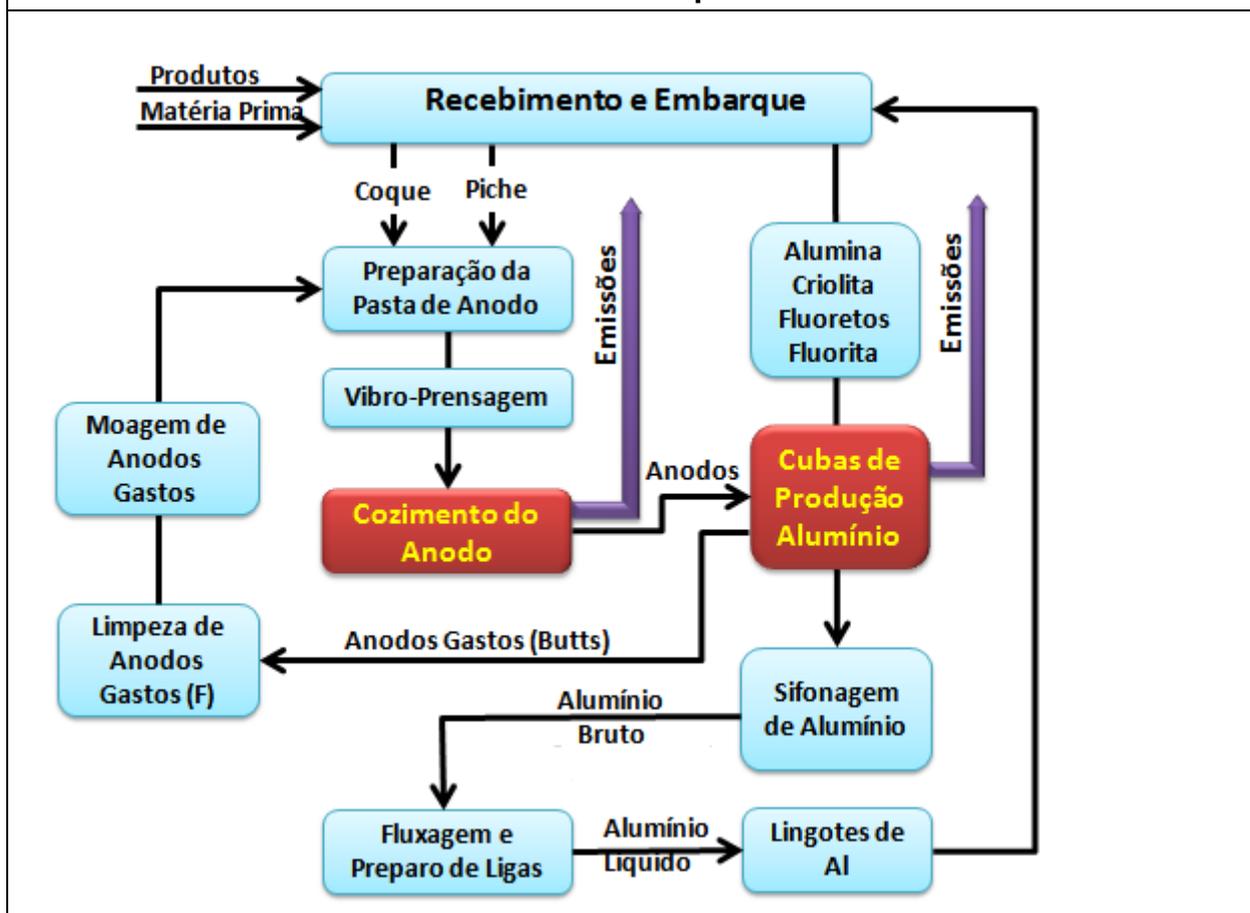
Normalmente, esta ventilação entra pelas laterais das salas de cubas e sai através de aberturas no telhado (lanternim). Esta ventilação é a principal fonte de emissões das salas de cubas.

Periodicamente, o alumínio é retirado da cuba por um processo chamado "corrida", ou sinfonamento, e transferido, ainda fundido, para a fundição, em cadinhos. Lá ele é colocado em um forno de espera onde são adicionados outros elementos de ligas (ferro, silício, magnésio e manganês) e fluxantes (geralmente com cloro e argônio), para remover as impurezas. A liga de alumínio, ainda fundida, é diretamente refrigerada e moldada em lingotes, tarugos ou placas.

Fig. 2.2 – Fluxograma do processo de produção de alumínio com cubas com anodos com a tecnologia Soderberg

2.2.2 Tecnologia de cubas com anodos pré-cozidos (prebaked)

A diferença fundamental entre as tecnologias de cubas com anodos pré-cozidos e Soderberg consiste na utilização de um bloco de carbono pré-cozido como anodo, em lugar da pasta anódica que é cozida gradualmente ao longo do processo de redução, no caso da tecnologia Soderberg.

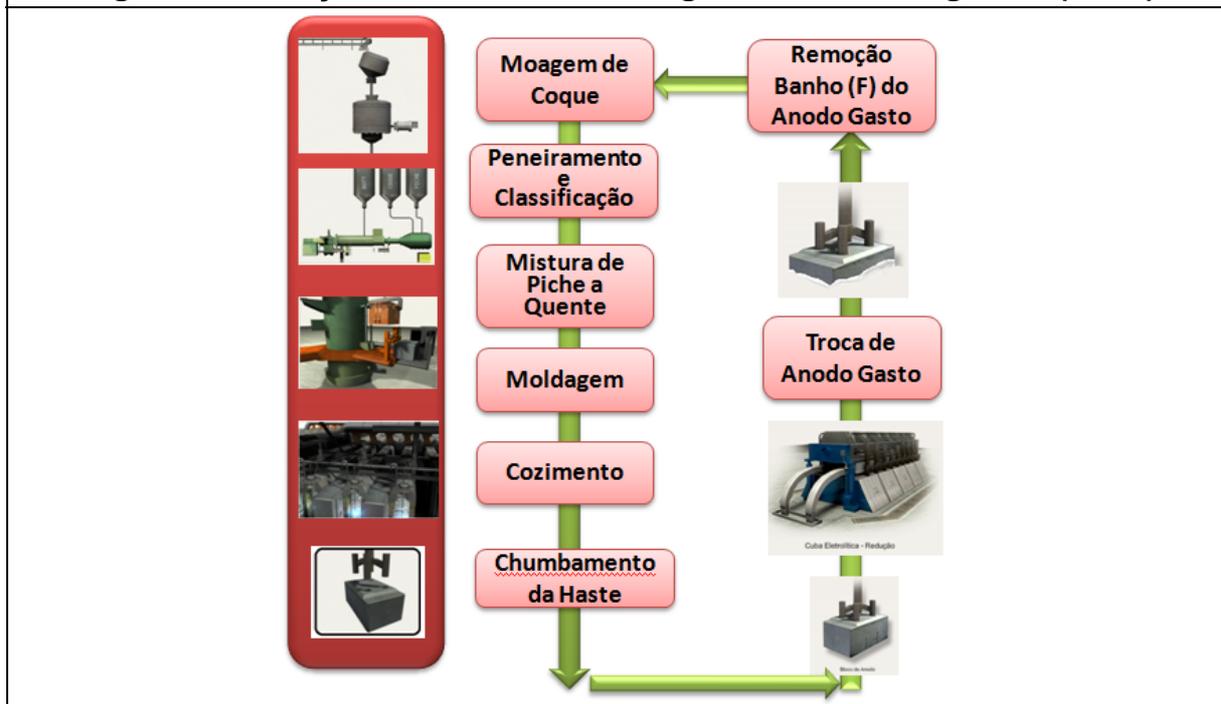
A utilização da tecnologia de anodos pré-cozidos resulta em melhor eficiência de corrente nas cubas e na maior captação primária dos gases, mas exige instalações industriais separadas para a produção e cozimento dos anodos. Em vez de uma fábrica de pasta, para a produção de briquetes crus, há a necessidade de incorporar o processo de cozimento dos blocos anódicos.
A referida unidade de fabricação de anodos engloba a britagem do coque, a mistura do coque moído em diferentes granulometrias ao piche e a prensagem dos blocos anódicos, seguidos de um forno a gás ou a óleo, para o cozimento dos anodos.

Fig 2.3 - Fluxograma do processo de produção de alumínio com a tecnologia de cubas com anodos pré-cozidos

2.2.3 Fabricação e cozimento de anodos no processo de cubas com anodos pré-cozidos

Ao contrário do que ocorre nas plantas que utilizam cubas com tecnologia de anodos Soderberg, nas quais a pasta anódica, constituída por briquetes crus, é cozida na própria superestrutura da cuba eletrolítica, no caso das plantas de anodo pré-cozido, são preparados blocos anódicos, que, após a prensagem, são cozidos em um forno específico, antes de os mesmos serem instalados nas cubas.

O coque e o Piche, componentes do anodo, são basculados em tremonhas independentes e direcionados para os silos de armazenamento. Em seguida, o coque é britado e peneirado para sua classificação em quatro frações, denominadas agregado seco. O agregado seco é pré-aquecido e misturado com piche em misturadores contínuos para a formação da pasta anódica, sob uma temperatura em torno de 165° C e segue, por meio de uma correia transportadora, até a prensa compactadora.

A referida prensa é o equipamento responsável pela conformação do bloco anódico. Este processo ocorre em três estágios: a) **Pesagem**: a quantidade de pasta para produzir um bloco (aproximadamente 1 tonelada) é dosada em um dos moldes; b) **Vibro-compactação**: o equipamento avança 120° posicionando-se sob o peso da cobertura, que desce automaticamente, prendendo-se ao molde, que é então vibrado por cerca de 60s. Em seguida, a cobertura é levantada, liberando o molde; c) **Ejeção**: o molde avança mais 120° e o bloco é ejetado, seguindo, via transportador, para o túnel de resfriamento e daí para os fornos de cozimento de anodos.

Fig. 2.4 - Produção de anodos e reciclagem dos anodos gastos (butts)

Para o cozimento, os blocos de anodos verdes são colocados em fornos especiais que utilizam, como combustível, óleo BPF, gás natural, ou a mistura de óleo diesel com biodiesel, para o processo de cozimento à temperatura de 1200° C pelo período de 15 dias.

O forno de Cozimento de Anodos é construído no interior de uma estrutura de concreto, na qual são montadas as paredes constituídas por tijolos refratários e isolantes térmicos, formando seções limitadas por corredores paralelos denominados alternadamente de câmaras de combustão e poços de anodos.

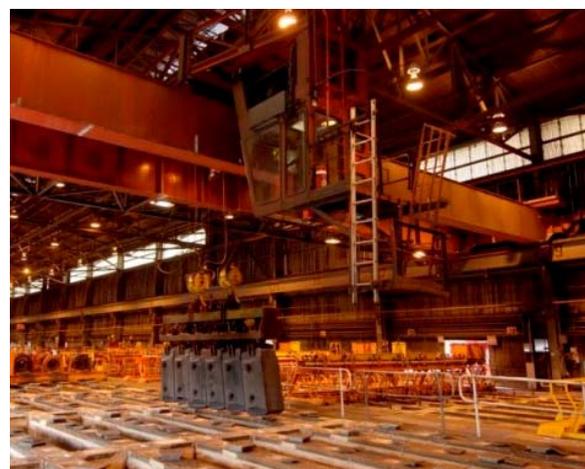
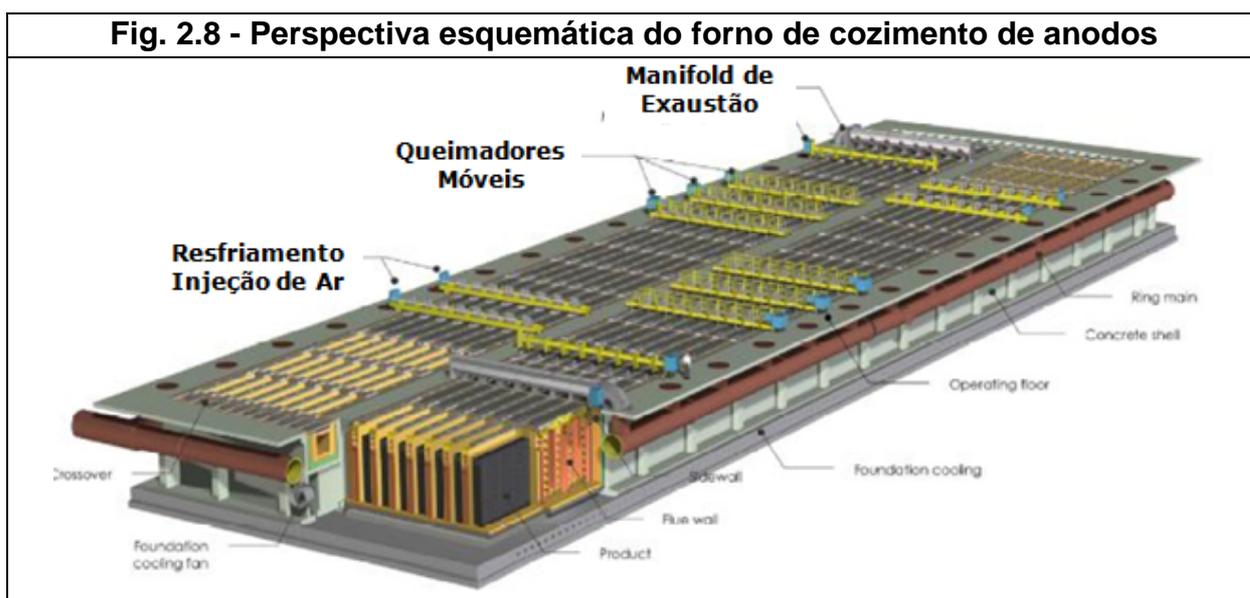
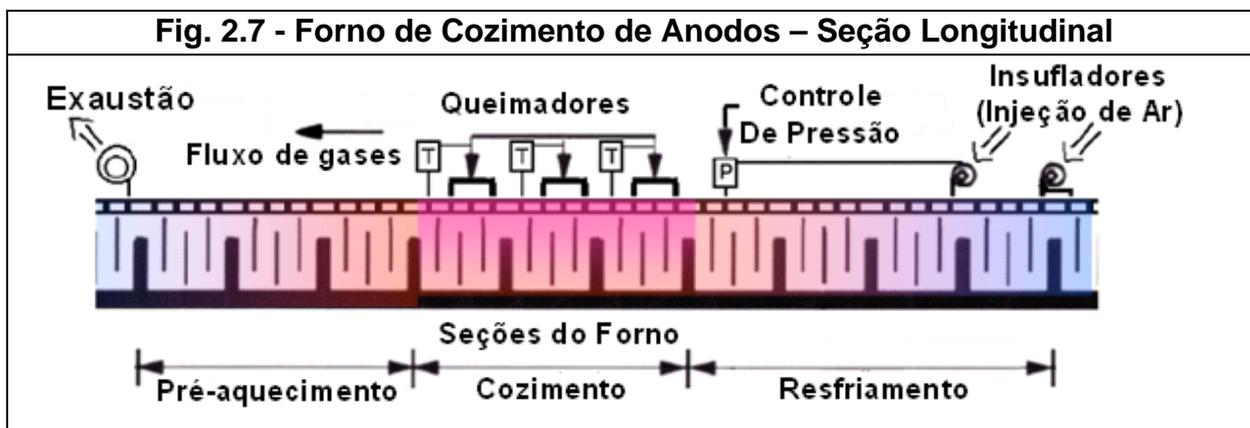
Fig. 2.5 – Vista de um forno de cozimento de anodos	**Fig. 2.6 – Operação de colocação de anodos verdes nas células do forno**

Os blocos de anodos crus são dispostos em células (pits) do forno de cozimento, que pode utilizar gás natural, óleo diesel / biodiesel, ou óleo combustível para alimentar os queimadores da seção de cozimento, a uma temperatura aproximada de 1200°C, por um período de cerca de 15 dias.

Fig. 2.7 - Forno de Cozimento de Anodos – Seção Longitudinal

Fig. 2.8 - Perspectiva esquemática do forno de cozimento de anodos

As emissões de tais fornos são constituídas de gases da combustão, material particulado e fração de fluoretos residuais de banho eletrolítico, que permanecem nos restos de anodos gastos que são reutilizados no processo de fabricação de novos blocos. A redução de tais concentrações dá-se fundamentalmente pela limpeza dos anodos gastos, com a máxima remoção possível de restos do mencionado banho. O controle das emissões de particulados ocorre pelo controle da eficiência do processo de combustão. A boa eficiência de combustão garante a boa prática de limpeza dos anodos gastos, produzindo-se baixas emissões.

2.2.4 Calcinação da alumina

A calcinação é a etapa final da obtenção de alumina. Tem como objetivo principal a conversão do hidrato em uma mistura cristalina de formas alotrópicas de Al_2O_3, ou uma fase específica. A alumina obtida deve atender às especificações de tamanho de partícula, granulometria, área superficial, perda ao fogo (LOI) e conteúdo de α-alumina desejada para o tipo que está sendo produzido. Além disso, a quantidade de sódio na alumina de grau metalúrgico deve ser baixa, e a energia empregada na calcinação próxima da requerida para decomposição do hidrato.

O hidrato chegado da etapa de precipitação é lavado e filtrado nos filtros Dorrcos, seguindo para secagem, calcinação e posterior resfriamento da alumina produzida.
Nos filtros Dorrcos, o conteúdo de sódio solúvel cai para valores próximos a 0,04%, restando um hidrato com umidade de aproximadamente 10%. A torta úmida é aqui levada a um secador, que opera em leito fluidizado (~300ºC) para remoção da água adsorvida. Dessa mesma forma, o hidrato é transportado por todo o sistema de calcinação para ser, então, descarregado no forno e direcionado ao vaso de retenção (HV). Esse vaso opera com uma quantidade de alumina estocada, que se renova à medida que nova quantidade entra e outra parcela é removida.

Fig 2.9 - Vista dos precipitadores eletrostáticos e as chaminés do forno de calcinação.	**Fig. 2.10 - Forno de calcinação e precipitador eletrostático**

As condições do forno e do vaso de retenção (HV) (nível e temperaturas de operação) ditam as características finais da alumina em produção. As temperaturas do processo de calcinação podem variar de 950ºC a 1250ºC, dependendo da campanha de alumina e da taxa de produção. Processos de calcinação são tipicamente reações que necessariamente englobam a decomposição de uma fase sólida em outra fase sólida e o desprendimento de gás/vapor.

Dessa forma, a reação de calcinação em questão é a que está abaixo:

$$2\ Al_2O_3.3H_2O_{(s)} \rightarrow Al_2O_{3(s)} + 3H_2O_{(v)}$$

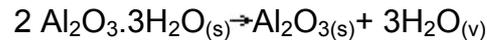
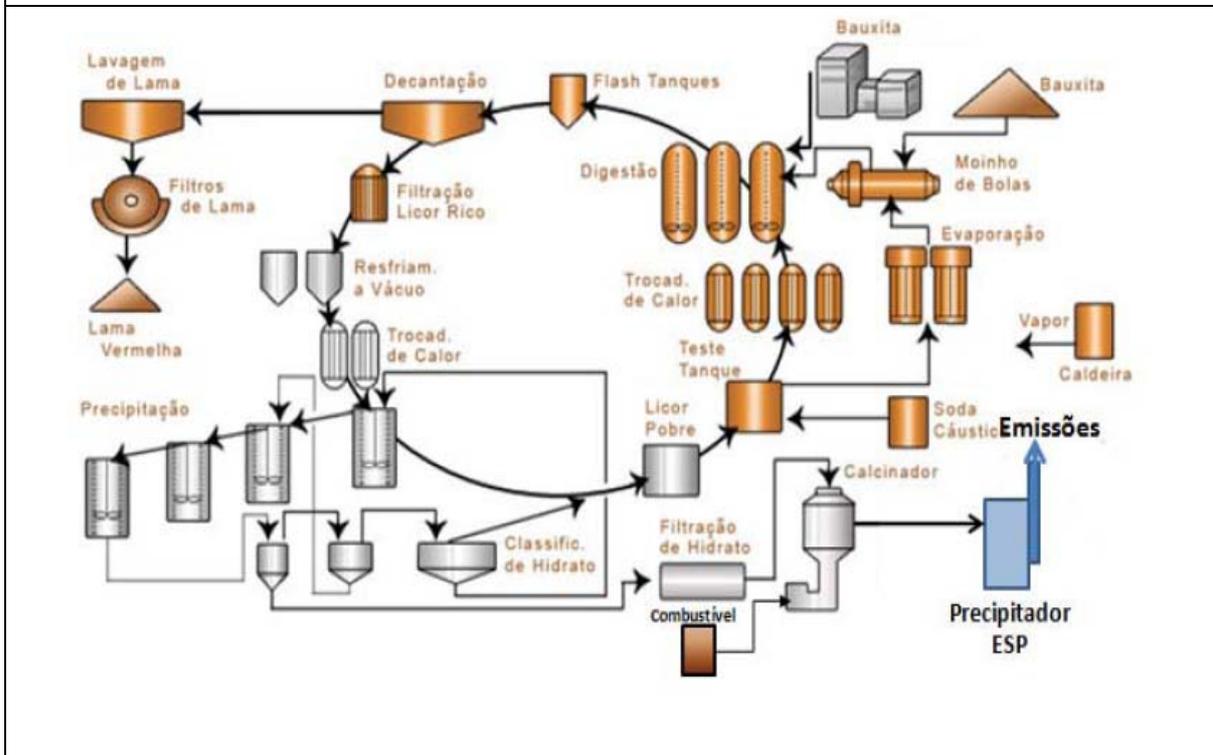



Fig. 2.11 - Processo Bayer de refino da bauxita e de calcinação da alumina

O produto calcinado e ainda parte do material não calcinado percorrem uma série de dutos e ciclones onde há uma constante seleção granulométrica, e as partículas consideradas finas são redirecionadas a outros ciclones para reclassificação. Caso não esteja dentro das especificações do referido produto, esse material fino é coletado por um precipitador eletrostático, que se constitui no equipamento de controle de emissões desta fase do processo e que, se bem dimensionado e operado, garante as baixas emissões do processo.

Além do material particulado, as emissões atmosféricas contêm os gases resultantes da combustão do combustível utilizado, normalmente óleo combustível (BPF).

2.3 Tipos de fábrica

Em 2009, 57,4% do alumínio primário produzido no Brasil foi produzido em fábricas que utilizam a tecnologia de anodos pré-cozidos. (Veja Figura 2.1.)

As cubas nas fábricas de anodos pré-cozidos utilizam múltiplos anodos que são moldados e cozidos em outras instalações, antes do seu consumo nas cubas, enquanto as cubas Soderberg utilizam um único e contínuo anodo que é moldado e cozido *in-situ*, diretamente nas cubas. Cada um desses tipos tem duas variações. As cubas das fábricas com anodos pré-cozidos são classificadas conforme o local de quebra de crosta e adição de alumina na cuba: no centro ou nas laterais, isto é, trabalhadas no centro (CWPB) ou trabalhadas nas laterais (SWPB). A grande maioria das cubas trabalhadas no centro utiliza o sistema de quebrada e alimentação de alumina pontual (*point-breaker feeder*).

As cubas Soderberg, por outro lado, são diferenciadas pelo posicionamento dos pinos para transporte de corrente aos anodos, que podem ser inseridos vertical ou horizontalmente.

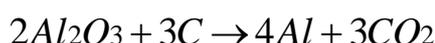
Os três tipos básicos de tecnologia de redução de alumina, para produção de alumínio primário, utilizados no Brasil são:

- Anodos pré-cozidos trabalhados no centro (CWPB)
- Anodos Soderberg de pinos verticais (VSS)
- Anodos Soderberg de pinos horizontais (HSS)

2.4 Princípios de redução da alumina – Tecnologia Hall-Heròuld

O alumínio primário é produzido pela redução de alumina por eletrólise em um banho fundido de criolita (Na_3AlF_6), que serve como um eletrólito para a solubilização da alumina. As dimensões das cubas são fixadas em função da capacidade de condução de corrente contínua. As cubas são revestidas com blocos de carbono e isolamento térmico e são ligadas em série, de 90 a 240 cubas, e modo a formar uma linha de cubas. A quantidade de alumínio produzido em cada cuba é função da quantidade de corrente elétrica para a qual foi projetada.

A redução eletrolítica da alumina pelo carbono ocorre de acordo com a seguinte reação:

$$2Al_2O_3 + 3C \rightarrow 4Al + 3CO_2$$

A produção varia de 400 a 3.000 kg de alumínio por dia, por cada cuba. O revestimento de blocos de carbono está em contacto com o metal de alumínio fundido e serve como catodo. Normalmente, o revestimento catódico deve ser substituído após 4 a 7 anos.

A **Figura 2.12** mostra os componentes típicos de uma cuba de redução de alumina.

Fig. 2.12 – Processo de Redução de Alumina

Corrente Contínua

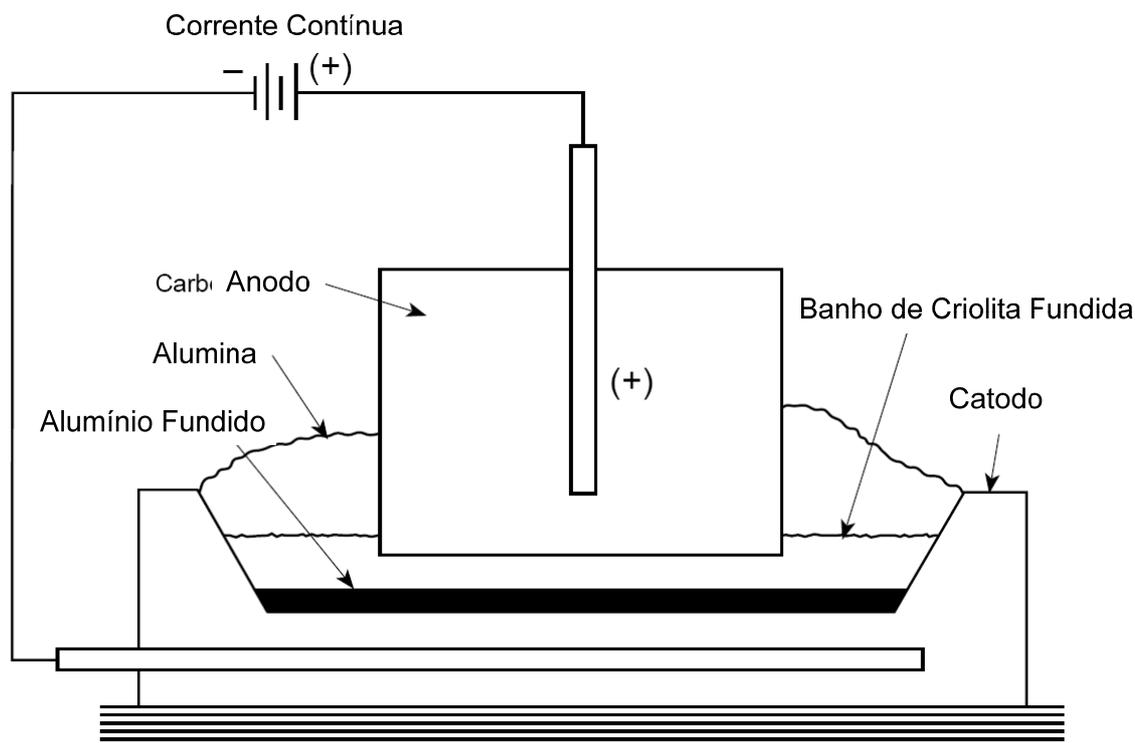
− (+)

Carb Anodo

Alumina

Alumínio Fundido

(+)

Banho de Criolita Fundida

Catodo

A Criolita e o fluoreto de alumínio são adicionados ao eletrólito para manter a proporção desejada de fluoreto de sódio e de alumínio e para substituir os fluoretos perdidos na cuba, através do revestimento catódico e pela volatilização. O ponto de fusão do banho é reduzido pela adição de pequenas quantidades de fluorita. O anodo de carbono é consumido durante a operação.

Nas cubas Soderberg, uma estrutura de aço reforçado, aberta no topo e no fundo, é suspensa acima do catodo. A massa de pasta eletródica (coque e piche), na forma de briquetes, é adicionada no interior desta estrutura e constitui o anodo. Periodicamente são adicionados mais briquetes, à medida que o anodo é consumido.

A corrente elétrica entra no anodo através de pinos inseridos na massa de carbono, verticalmente (Figura 2.13) ou horizontalmente (Figura 2.15).

O calor do banho e o calor resultante da passagem da corrente elétrica pela resistência do carbono cozinham a pasta anódica, para que ela se torne uma massa monolítica dura, a partir da superfície do eletrólito até um ponto de aproximadamente 80 centímetros acima da superfície do banho. Como o carbono do anodo é consumido, uma quantidade adicional de pasta desce através da estrutura de aço e é consumida. Os pinos situados na parte inferior do anodo são retirados e colocados em níveis mais elevados do anodo.

A distância anodo-catodo é controlada com a subida ou descida da superestrutura do anodo.

A tecnologia Soderberg, exceto pela necessidade de deslocamento dos pinos, é um método de alimentação contínua do anodo. O sistema de anodos pré-cozidos resulta em melhor eficiência de corrente nas cubas, mas exige instalações separadas para a produção de anodo: instalações de chumbamento do anodo e fornos de cozimento de anodo, os quais não são necessários no sistema Soderberg.

Quanto ao sistema de captação das emissões provenientes das cubas, as diversas tecnologias diferem na eficiência de captação.

De acordo com o US-EPA, as eficiências típicas de captação das emissões dos diversos tipos de cuba são mostradas na Figura 2.14.

As emissões das cubas Soderberg são mais difíceis de serem coletadas e exigem dispositivos de coleta menos eficientes, que requerem uma velocidade de captura maior. Altas velocidades de captura aumentam a vazão total de ar e a diluição das emissões, o que requer equipamentos maiores e mais investimentos para controlar tais emissões, se comparadas com as cubas de anodos pré-cozidos, para uma mesma produção de alumínio. Este assunto será melhor detalhado no item 3.2 deste documento.

Fig. 2.13 – Cuba Soderberg de Pinos Verticais – VSS

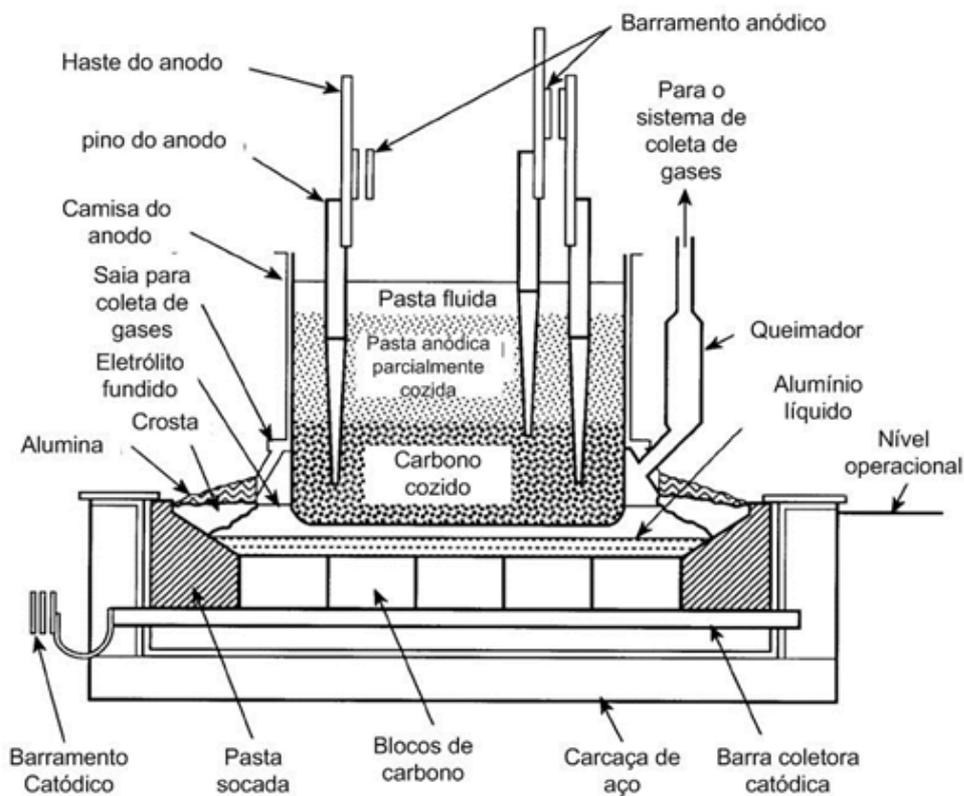



Fig. 2.14 – Eficiências de Captação de Gases das Diferentes Tecnologias de Cubas

Tipo de Tecnologia	% de Captura
VSS - Soderberg - Pinos Verticais	85
HSS - Soderberg - Pinos Horizontais	90
SWPB - Prebake - Lateral	85 - 95
CWPB - Prebake Central	95 - 99
PFPB - Prebake Point Feeder	> 99

Dependendo da composição química do banho e de outros fatores, a melhor temperatura de funcionamento da cuba está entre 940°C e 985°C. Nesta gama de temperaturas, a alumina contida no banho varia de 3% a 10%. Quando a concentração de alumina no banho cai para cerca de 2%, a resistência do banho aumenta bastante, principalmente por causa de uma película de gás que envolve o anodo. A voltagem da cuba aumenta de cerca de 4,5 volts para 20 a 40 volts. O fenômeno é conhecido como o "efeito anódico" e, logo que ocorre, a crosta do banho

eletrolítico da cuba deve ser quebrada para que mais alumina seja adicionada à cuba, retornando ao seu funcionamento normal.
A cada 1 ou 2 dias, o alumínio fundido é removido do fundo da cuba por uma técnica de sinfonamento a vácuo. Ver Figura 2.18.

Fig. 2.15 – Cuba Soderberg com Pinos Horizontais - HSS

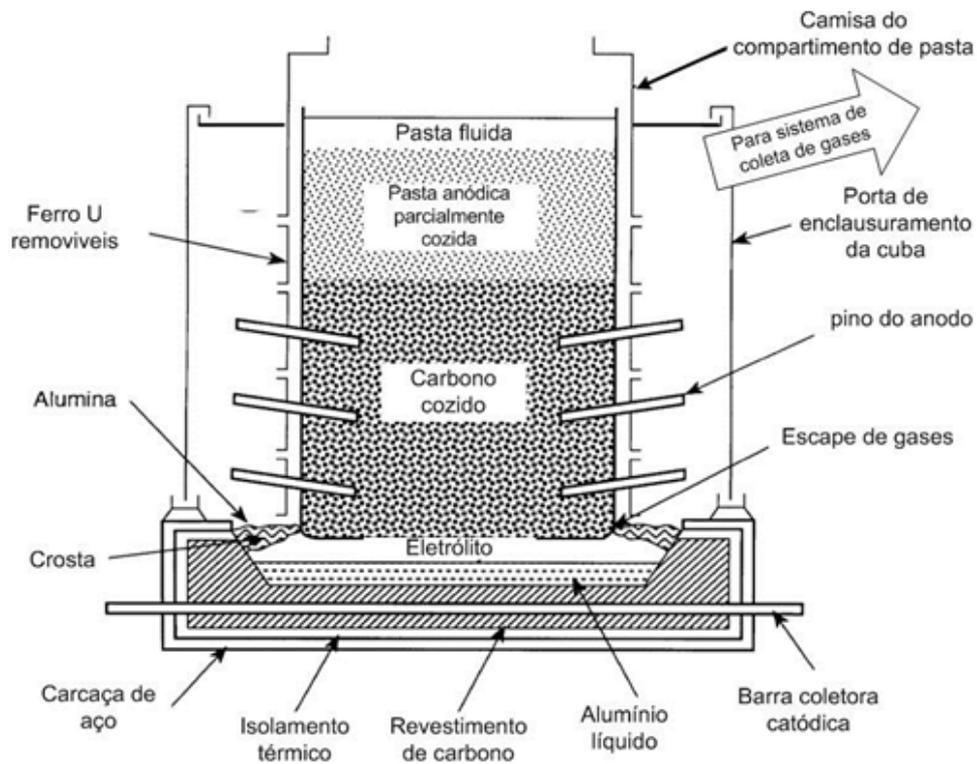
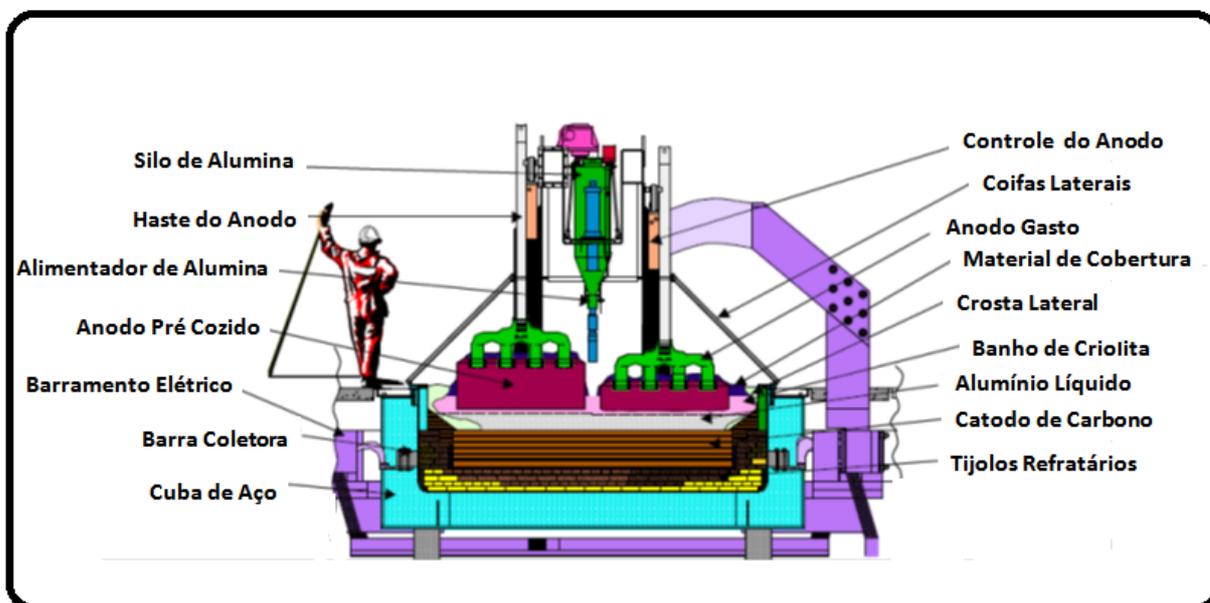



Fig. 2.16 – Cuba de Anodos Pré-Cozidos com Alimentação Central por meio de Point Feeders – PFPB.

Existem dois tipos de cubas de anodos pré-cozidos: as cubas de anodos pré-cozidos alimentadas centralmente (CWPB) e as cubas trabalhadas lateralmente (SWPB), no que se refere ao modo de alimentação de alumina, se realizado na porção central da cuba ou ao longo das duas laterais. A alimentação lateral envolve a abertura das coifas e a quebra da crosta solidificada do banho, para permitir a adição da alumina. Estas operações causam consideráveis aumentos nas emissões fugitivas, e todas as novas fábricas e as existentes no Brasil não utilizam esta tecnologia.

Uma vantagem adicional da tecnologia *prebaked* usada nas fábricas existentes no Brasil é a utilização de alimentadores automáticos pontuais de alumina (*point feeders*), localizados na porção central da cuba, os quais, combinados com o controle computadorizado do processo, tornam possível manter a composição do banho eletrolítico estável e, portanto, estabilizam as condições do processo. Esta combinação é denominada “Point Feeder Prebake” (PFPB), como mostrado na Figura 2.16, acima.

As cubas de anodos pré-cozidos, embora utilizem o mesmo processo eletrolítico das cubas de anodos Soderberg, apresentam diferenças relacionadas aos processos de alimentação de alumina e à vedação das cubas, permitindo uma melhor captação dos gases.

Nas figuras 2.17 e 2.18, a seguir, são apresentados aspectos da sala de cubas de anodos pré-cozidos com a tecnologia de alimentação de alumina automatizada na parte central (Center Worked Pre-Baked - CWPB).

Observa-se que a cuba se encontra totalmente fechada, não havendo necessidade de abertura ou da quebra da crosta lateral para permitir a alimentação de alumina, o que aumenta significativamente a eficiência de captação dos gases.

A automatização das operações das cubas de anodos pré-cozidos permite que o processo seja enclausurado por coifas e que haja o selamento de todo o perímetro da cuba, o que resulta em que, apenas por pequenas frações de tempo, as tampas de enclausuramento sejam removidas, como, por exemplo, na troca de anodos gastos, na retirada de alumínio fundido, ou em algumas outras poucas operações. No restante do tempo, as cubas permanecem totalmente fechadas, aumentando a taxa de eficiência de captação dos gases e, consequentemente, minimizando as emissões secundárias.

Fig 2.17 Vedação das cubas de anodos pré-cozidos (CWPB)	**Fig 2.18 - Operação de Sinfonamento de alumínio das cubas CWPB**

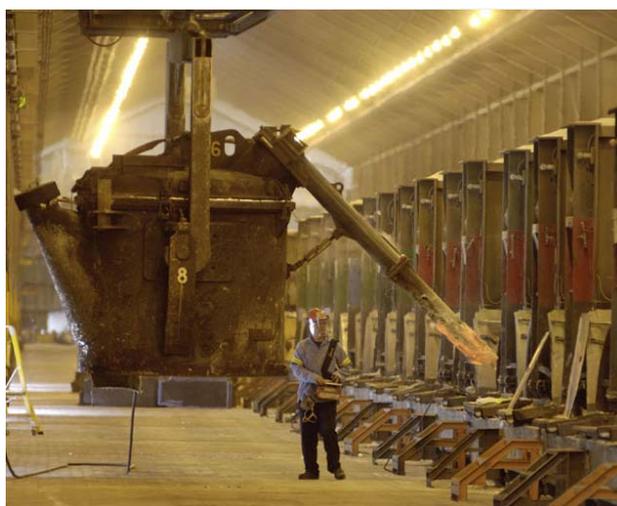



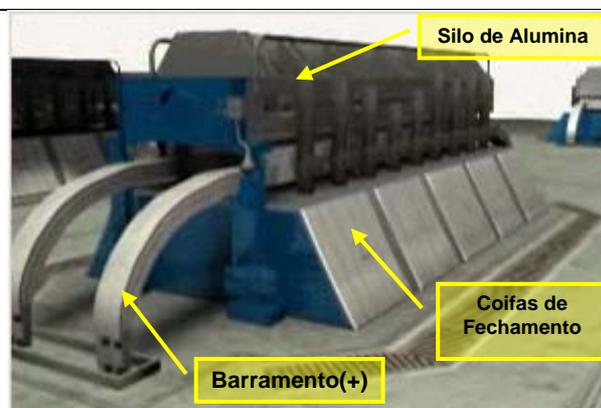
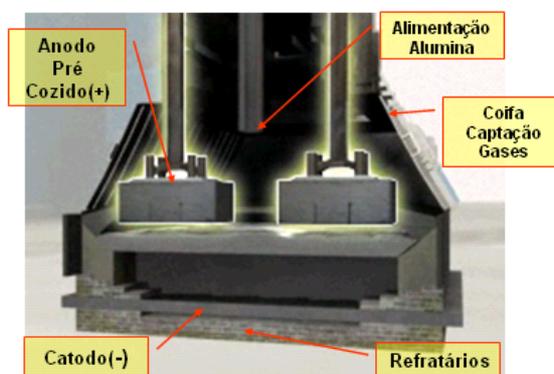
Fig 2.19 Cuba com tecnologia CWPB	**Fig 2.20 – Vista interna de uma cuba CWPB**

2.5 *Fatores de emissão*

Fig. 2.21 - Limites máximos de emissão para fábricas novas de alumínio primário fixados pela Resolução Conama nº 382

Fonte de Emissão/unidade de medida	Limite de Emissão	
	MP	Fluoreto Total
Forno de calcinação de hidrato/kg/t de alumina produzida	**2,0**	**N.A.**
Sala de cubas (1) / kg/t de alumínio produzido	**4,8**	**1,10**
Forno de cozimento de anodo/ kg/t equivalente de alumínio	**0,2**	**0,15**

(1) soma das emissões da saída do sistema de controle primário e lanternim.
N.A. - Não aplicável.

Os limites máximos de emissão fixados pela Resolução Conama nº 382 (veja Figura 2.21) consideraram a produção de alumínio primário em cubas de anodos pré-cozidos, ao estabelecer o limite de emissão dos fornos de cozimento de anodo. Como nas fábricas com tecnologia Soderberg o cozimento do anodo é feito na própria cuba, consideramos, neste documento, que o limite de emissão para fábricas novas de tecnologia Soderberg deveria ser 5,0 kg/t de MP e 1,25 kg/t de Fluoreto Total.

No desenvolvimento deste documento, encontrou-se dificuldade em como simular as emissões das fábricas existentes, tendo em vista que os métodos de amostragem empregados pelas empresas e as metodologias de gerenciamento das emissões são diferentes.

Foi tomada a decisão de usar os Fatores de Emissão publicados pela US-EPA e realizar com estes dados as simulações e a proposta dos limites de fábricas existentes. (Veja Figuras 2.25 a 2.32 para os fatores de emissão para diversas tecnologias.)
(Consulte o relatório final do US-EPA sobre fatores de emissão de fábricas de alumínio primário existentes, publicados no AP 42, Fifth Edition, Volume I - Chapter 12: Metallurgical Industry.)

Fig. 2.22 – Sala de cubas de pinos verticais - VSS

Fig. 2.23 – Sala de cubas de pinos horizontais - HSS

Fig. 2.24 – Sala de cubas com tecnologia Prebake – Anodos Pré-Cozidos com alimentação Central e Point Feeder - PFPB

Fig. 2.25 - Fatores de emissão de fábricas existentes de tecnologia de anodos pré-cozidos (CWPB) em kg/t

kg/t	CUBAS ANODOS PRÉ-COZIDOS					
	MP	%	Fg	Fp	Ft	%
Cubas sem controle	47	100	12	10	22	100
Emissões fugitivas	2,5	5,32	0,6	0,5	1,1	5,00
Emissão para lavador gases	44,5	94,68	11,4	9,5	20,9	95,00
Emissão lavador a seco	0,9	1,91	0,1	0,2	0,3	1,36
Emissão total com lavador a seco	3,4	7,23	0,7	0,7	1,4	6,36

Fig. 2.26 - Diagrama do sistema de controle das emissões de sala de cubas de anodos pré-cozidos (CWPB), baseado nos Fatores de Emissão da Fig. 2.25

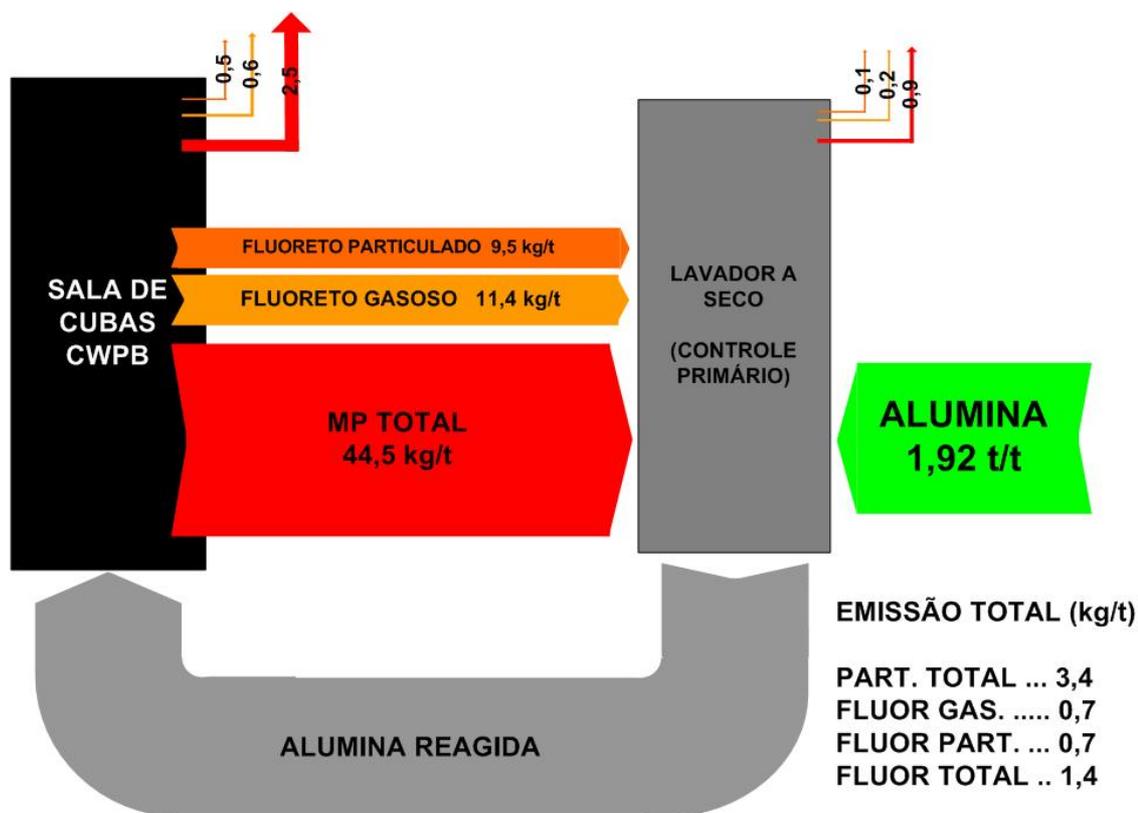



Fig. 2.27 - Fatores de emissão de fábricas existentes de tecnologia Soderberg VSS em kg/t

kg/t	CUBAS VSS					
	MP	%	Fg	Fp	Ft	%
Cubas sem controle	39	100	16,5	5,5	22	100
Emissões fugitivas ou para lavador secundário	6	15,38	2,45	0,85	3,3	15,00
Emissão para lavador primário	33	84,62	14,05	4,65	18,7	85,00
Emissão lavador primário a seco	0,65	1,67	0,15	0,1	0,25	1,14
Emissão lavador umido de controle de emissões secundárias (1)	2,4	6,15	0,49	0,3	0,79	3,59
Emissão total com lavador primário a seco	6,65	17,05	2,6	0,95	3,55	16,14
Emissão total com lavador primário e secundário	3,05	7,82	0,64	0,4	1,04	4,73

(1)Eficiencia calculada conforme literatura citada

Fig. 2.28 - Diagrama do sistema de controle das emissões de sala de cubas de tecnologia VSS, sem lavador de emissões secundárias

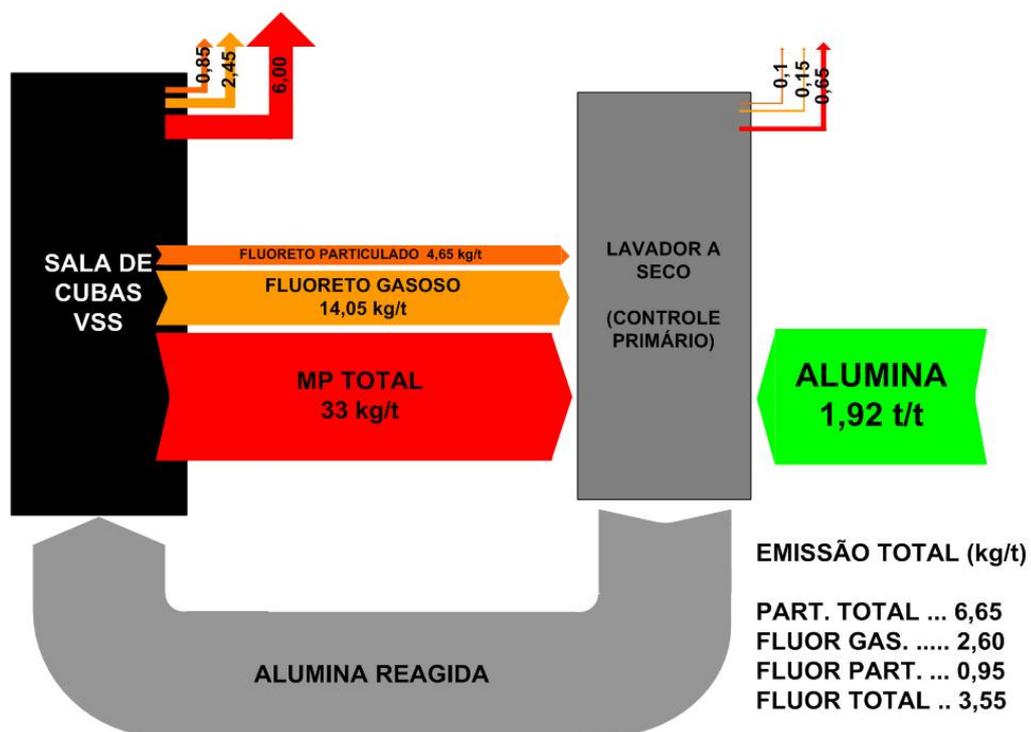



Fig. 2.29 - Diagrama do sistema de controle das emissões de sala de cubas de tecnologia VSS, com lavador de emissões secundárias

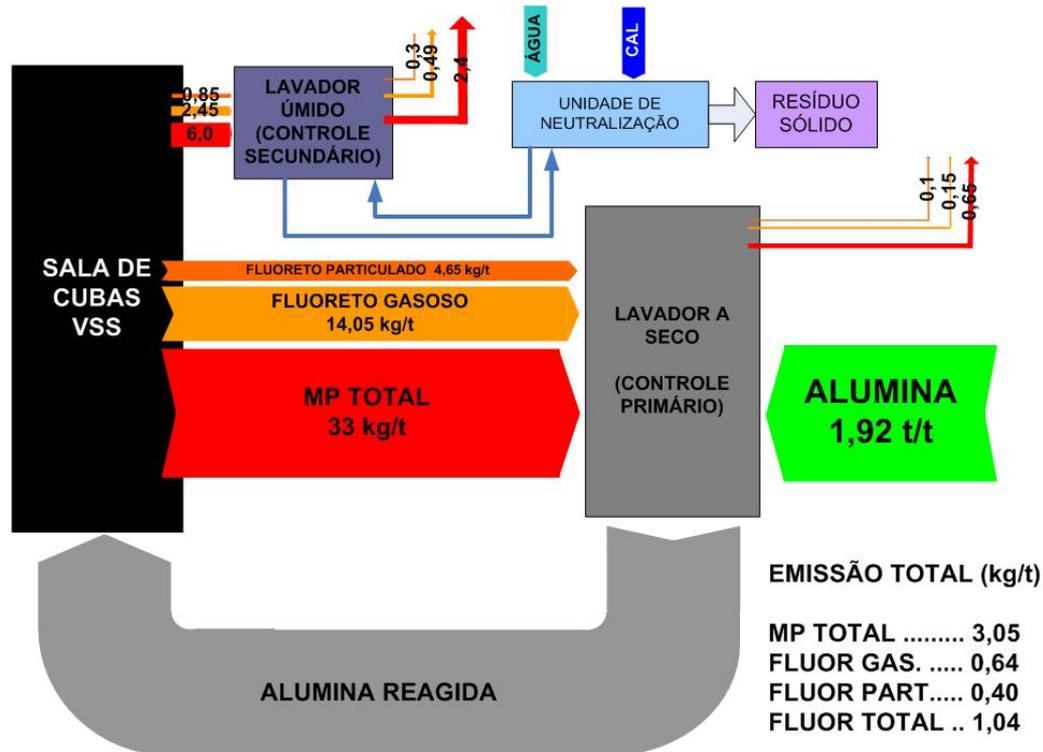



Fig. 2.30 Fatores de emissão de fábricas existentes de tecnologia Soderberg HSS em kg/t

kg/t	CUBAS HSS					
	MP	%	Fg	Fp	Ft	%
Cubas sem controle	49	100	11	6	17	100
Emissões fugitivas	5,0	10,2	1,1	0,6	1,7	10,0
Emissão para lavador gases	44,0	89,8	9,9	5,4	15,3	90,0
Emissão lavador a seco	0,9	1,8	0,2	0,1	0,3	1,8
Emissão lavador umido	11,0	22,4	3,8	1,4	5,1	30,0
Emissão total com lavador a seco	5,9	12,0	1,3	0,7	2,0	11,8
Emissão total com lavador úmido	16,0	32,7	4,9	2,0	6,8	40,0

Fig. 2.31 - Diagrama do sistema de controle das emissões de sala de cubas de tecnologia HSS, com lavador a seco para controle primário

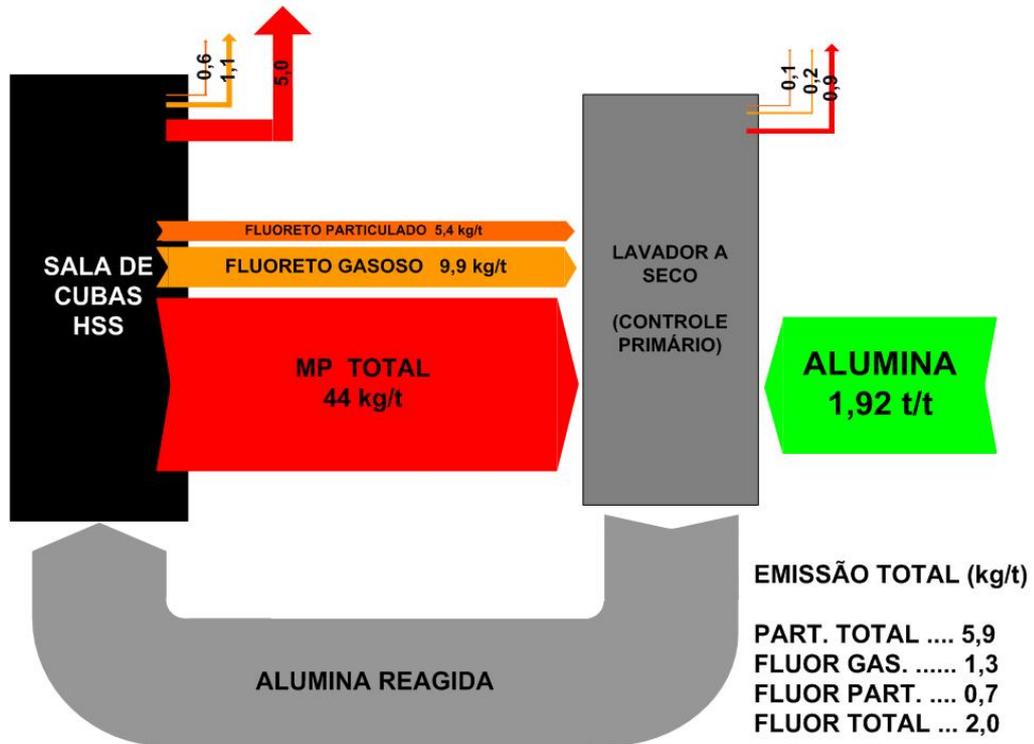
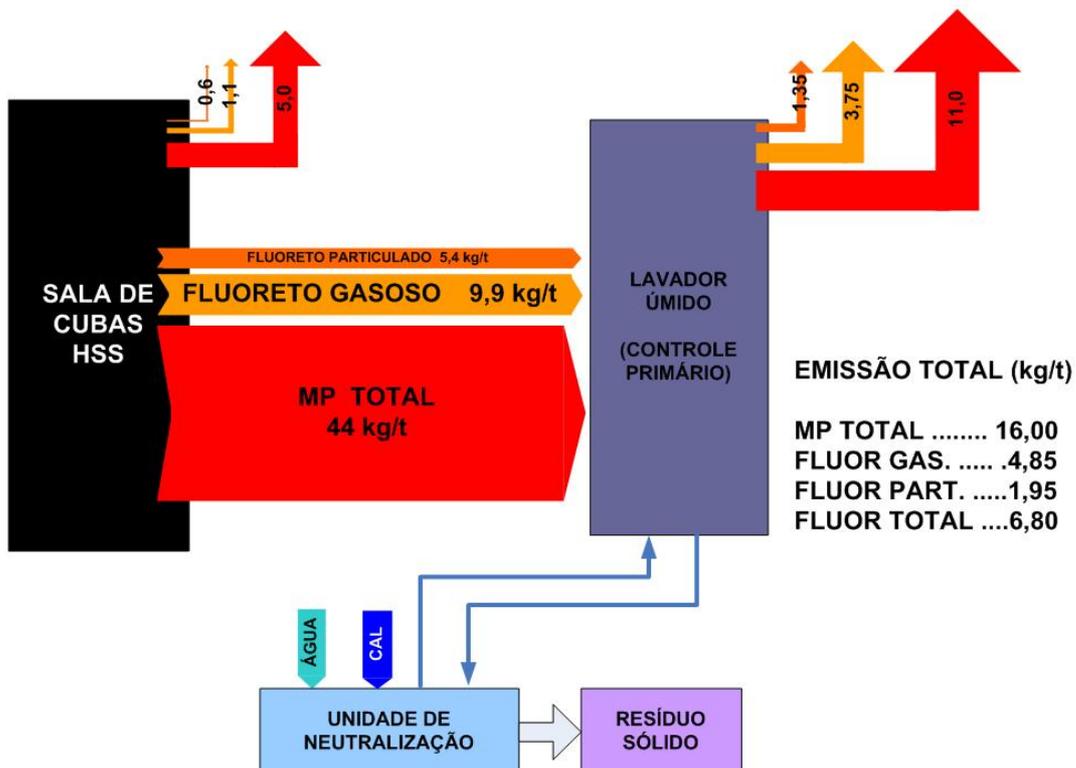



Fig. 2.32 - Diagrama do sistema de controle das emissões de sala de cubas de tecnologia HSS, com lavador úmido para controle primário

3 TECNOLOGIA DE CONTROLE DE EMISSÕES

Este capítulo descreve a tecnologia de controle das emissões provenientes da indústria brasileira de alumínio primário e os fatores que as afetam.

A discussão será centrada em equipamentos de captura das emissões (*hooding*), dispositivos de controle e procedimentos operacionais que são atualmente utilizados para controlar emissões primárias e emissões secundárias (fugitivas, através do lanternim) da produção de alumínio primário.

A eficiência de captura das emissões, a eficiência de controle e os níveis de emissão serão discutidos em termos de emissões de flúor total (FT) e material particulado (MP). O flúor total inclui as emissões de fluoreto particulado e fluoreto gasoso.

3.1 Instalações de redução de alumina (sala de cubas)

O controle de emissões primárias das cubas de redução de alumina e o controle das emissões secundárias (fugitivas) estão inter-relacionados.

A reparação ou substituição dos “manifolds” ou “saias” (VSS), ou reparo na superestrutura das cubas (HSS), são ações que visam melhorar a eficiência de captura dos sistemas primários. Ações para melhorar a vedação ou práticas operacionais que reduzam o número e a duração dos serviços nas cubas podem minimizar as emissões primárias e têm um efeito muito importante sobre o total de emissões das salas de cubas. Por exemplo, uma perda de apenas um por cento na eficiência de captação pode aumentar as emissões totais de 30 a 90%, dependendo da eficiência inicial, por causa da alta eficiência dos sistemas de controle das emissões primárias.

Portanto, o controle das emissões e a eficiência devem ser discutidos simultaneamente para as emissões primárias e as secundárias.

3.2 Métodos de captação de emissões das cubas

Os sistemas de captura utilizados nas cubas de redução da alumina não podem enclausurar totalmente a cuba em todos os momentos porque as cubas devem ser abertas de períodos em períodos, para se adicionar alumina e outras matérias-primas, para troca de anodos ou pinos de anodos, para cancelar efeitos anódicos e para remover o alumínio produzido.

Na tecnologia Soderberg, existem diferenças entre a concepção das cubas de pinos horizontais e verticais no projeto de captação, taxas de exaustão e eficiência de captação.

Consequentemente, cada tipo de cuba apresenta suas características próprias de captação de emissões. As Figuras 2.13 a 2.16 mostram o arranjo para cada tipo de cuba e ilustram algumas das diferenças entre os sistemas de captação de emissões.

3.2.1 Cubas de anodo pré-cozido – CWPB

A mais bem-sucedida e eficaz captação de emissões em uso hoje é a utilizada nas mais modernas cubas de anodo pré-cozido. Estas cubas têm coberturas de cada lado que podem ser removidas para expor apenas a seção da cuba que deve ser "trabalhada”. Em alguns casos, as cubas podem ser trabalhadas internamente ou a partir das cabeceiras, sem necessidade de se removerem as proteções laterais.

O US-EPA reportou uma eficiência de captura das emissões de 95% nas cubas de anodo pré-cozido. Durante a operação na cuba, em alguns projetos há a possibilidade de se aumentar a tiragem dos gases em até 50% da vazão normal.

3.2.2 Cubas de anodo Soderberg de pinos verticais – VSS

A Figura 2.13 ilustra o sistema de captação típico de uma cuba VSS. O sistema de coleta consiste em uma “saia” ou “manifold” que está instalada em torno da extremidade inferior do anodo, no nível do banho eletrolítico. Um canal é formado pelo anodo e pela estrutura exterior do anodo. O canal serve como um duto para transportar os gases gerados até queimadores instalados nas extremidades das cubas.

Desta forma, uma área de superfície do banho se encontra fora do sistema de captação. Esta área exposta é normalmente coberta por uma crosta de criolita e alumina. A alumina tem a propriedade de adsorção dos fluoretos gasosos. Contudo, esta crosta é quebrada quando a célula é “trabalhada”, expondo o banho fundido até que a crosta seja recomposta com a sua cobertura com alumina, após o “trabalho” na cuba.

Durante o período em que o banho eletrolítico é exposto, as emissões de flúor e particulados escapam e saem da sala de cubas, pelo lanternim.
As “saias” ou “manifolds” nas cubas VSS, quando seladas, permitem uma exaustão a taxas muito menores do que outros tipos de cuba, o que resulta em menor diluição.

Uma vantagem da menor taxa de diluição é que a concentração de hidrocarbonetos gerados pelas cubas é alta o suficiente para suportar a combustão nos queimadores de gás, que são uma parte integrante da cuba VSS.

Ao contrário de outros modelos, as cubas VSS não se beneficiam da tentativa de aumentar a taxa de exaustão durante o "trabalho" nas cubas, porque as atividades ocorrem fora da área de captação das saias das cubas.

A US-EPA reporta que a captura típica das emissões nas cubas VSS é de 85%.

3.2.3 Cubas de anodo Soderberg de pinos horizontais – HSS

As portas laterais das cubas HSS se estendem por todo o comprimento dos dois lados da cuba. O "trabalho" em um lado da cuba exige abertura de uma porta inteira. A maior parte dos projetos de sistemas de captura das emissões não pode fornecer velocidade suficiente para capturar as emissões de maneira eficaz nestas circunstâncias.

As linhas de cubas HSS são capazes de alcançar uma eficiência de captação de fluoreto total na faixa de 85 a 95%.

A abordagem para melhorar a eficiência de captação envolve vedação da superestrutura e programação de trabalhos que reduzam o tempo de abertura das portas, utilizando-se equipamentos de plantação e remoção de pinos e máquinas de quebra-crostas mais eficientes e que requeiram um tempo menor para se realizar o trabalho.

Por outro lado, uma vedação adequada da superestrutura garante que se possa trabalhar com uma pressão negativa dentro da superestrutura, com as portas fechadas e com uma vazão de gases reduzida. Quando se reduz a vazão necessária para manter a superestrutura da cuba com pressão negativa, diminui-se o tamanho dos dutos e a capacidade dos sistemas de controle primários, reduzindo-se o valor do investimento.

O controle do tempo de abertura das portas e a garantia de uma vedação adequada asseguram a alta eficiência de coleta das emissões em uma cuba HSS.

3.3 Dispositivos de controle de emissões primárias

As emissões recolhidas pelo sistema de captação de gases são encaminhadas para um dispositivo de controle para a remoção de gases e partículas das emissões.

A distribuição dos tipos de dispositivo utilizados para controlar as emissões das cubas instaladas no Brasil é mostrada na Figura 3.1.

FIG. 3.1 SUMÁRIO DOS TIPOS DE SISTEMA DE CONTROLE DE EMISSÕES DE FÁBRICAS BRASILEIRAS DE ALUMÍNIO EM 2009

DISPOSITIVOS DE CONTROLE	Número de linhas de cubas
Sem controle primário	1
Controle primário com lavadores a seco	18
Controle primário com lavadores a seco e controle secundário com lavadores úmidos	3
Controle primário com lavadores úmidos	1
Total	23

3.3.1 Lavadores de gases a seco

Os lavadores de gases a seco utilizados nas instalações de redução de alumina são compostos por unidades que usam o contato da alumina com os gases provenientes das cubas para adsorção da parte gasosa das emissões. A alumina que vai ser usada nas cubas entra em contato com os gases e, após o tempo necessário para a reação, os gases são enviados para filtros de mangas, a fim de se remover a alumina e outras partículas que se encontrem em suspensão.

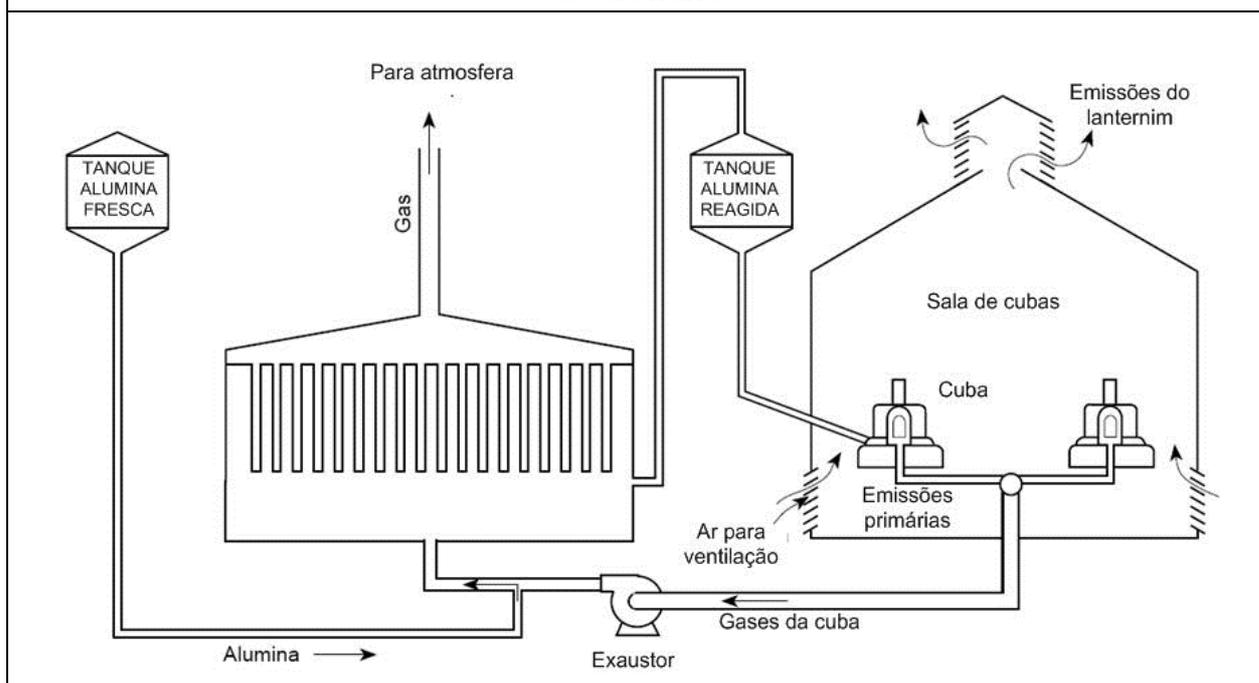
Fig. 3.1 - Exemplo de lavadores de gases a seco, com leito fluidizado de alumina

Este processo usa alumina para adsorver o fluoreto gasoso e outros gases, assim como o filtro de mangas para remover o fluoreto particulado e outras partículas encontradas nas emissões das cubas. A alumina pode adsorver de 4 a 6% do seu peso em fluoreto gasoso.

Uma característica importante do sistema de lavagem a seco em que se usa alumina como meio de adsorção é que o processo não gera resíduo e toda a alumina, é em seguida, utilizada no processo de redução, sendo a eficiência de remoção de fluoretos gasosos maior do que 99%.

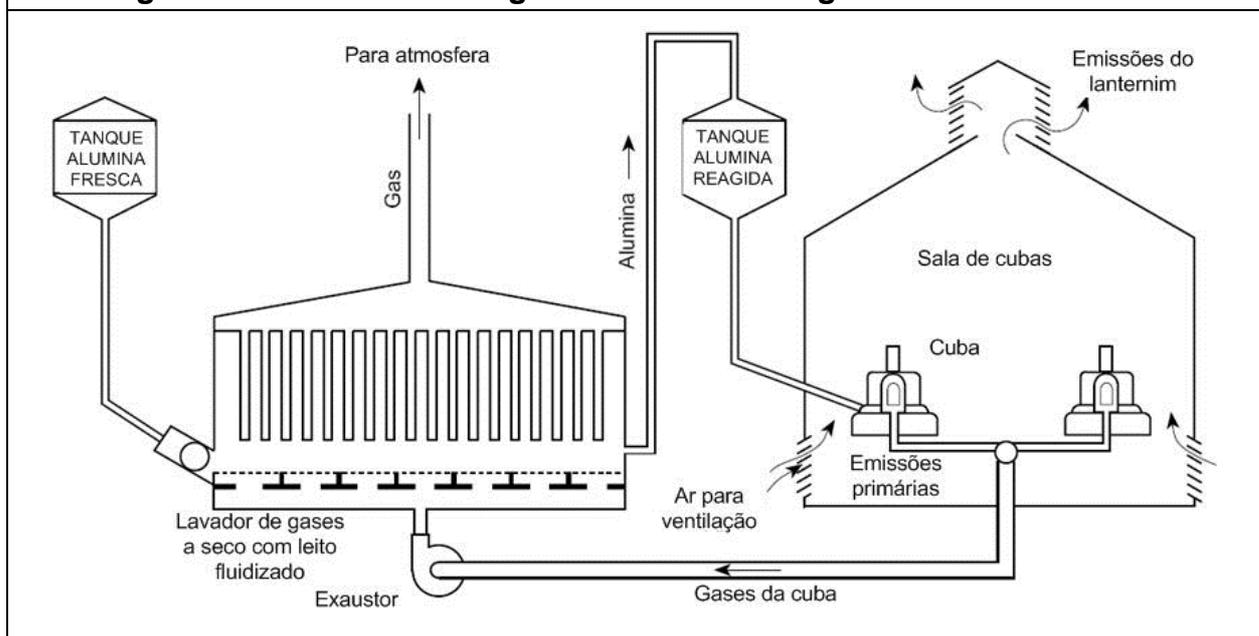
Existem dois tipos básicos de sistema de lavagem a seco em uso:

- injeção de alumina na corrente de gás;
- leito fluidizado de alumina (gás passa pelo leito fluidizado).

Fig. 3.2 – Fluxograma de lavagem a seco de gases com a tecnologia de injeção de alumina

No sistema de lavagem a seco com injeção de alumina mostrado na Figura 3.2, a alumina entra em contato com o gás nos dutos horizontais, sistemas de *venturi* ou dutos verticais. O tempo limitado de contato da alumina com os gases torna necessária a sua recirculação de 2 a 6 vezes, a fim de possibilitar o contato gás-sólido por tempo suficiente para garantir alta eficiência de coleta.

No sistema de lavagem a seco por leito fluidizado, mostrado na Figura 3.3, o contato do gás com a alumina ocorre pela passagem do gás através de um leito expandido de alumina. Os gases do processo fluidizam o leito da alumina.

Dispositivos de adição de alumina fresca e remoção da alumina reagida são utilizados nos reatores para garantir o funcionamento do sistema de forma contínua. Depois de passar através do leito fluidizado apenas uma vez, a alumina reagida é enviada para a sala de cubas como matéria-prima para o processo de produção.

Fig. 3.3 – Fluxograma de um sistema de lavagem a seco de gases utilizando a tecnologia de leito fluidizado seguido de filtros-manga.

Os dois tipos de lavador a seco utilizam filtros de mangas para remover a alumina reagida e outras partículas em suspensão no gás, após a passagem pelo leito fluidizado.

Parâmetros importantes que afetam a eficiência da alumina na adsorção de fluoreto gasoso incluem a vazão de alumina, o grau de mistura entre a alumina e o gás, e o tempo de contato da alumina com o gás. A taxa de recirculação, a área superficial da alumina, a umidade e o teor de sódio da alumina também afetam a adsorção de fluoreto gasoso.

3.3.2 Lavadores úmidos

Estes lavadores funcionam com uma queda de pressão relativamente baixa. Consequentemente, as eficiências de remoção de materiais particulados são muito inferiores àquelas observadas para os lavadores a seco.

Os lavadores úmidos removem os contaminantes do processo e estes não retornam para a cuba, gerando resíduos que devem ser dispostos ou reciclados em outros processos, de maneira ambientalmente adequada.

Nos lavadores a seco, como todos os materiais coletados retornam para o processo, são introduzidas impurezas no alumínio produzido. Consequentemente, as linhas de cubas utilizando lavadores úmidos podem produzir um alumínio de maior pureza.

Fig. 3.4 - Fluxograma de sistema de lavagem úmida de emissões

Saída de gases
Bicos de lavagem
Água de lavagem
Eliminador de gotículas
Bicos de recirculação
Licor de recirculação
Cesto de bolas
Coleta de gases
G
L
Reservatório de recirvulação
Água de reposição
Licor de drenagem
Unidade de neutralização
Licor de retorno
ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO

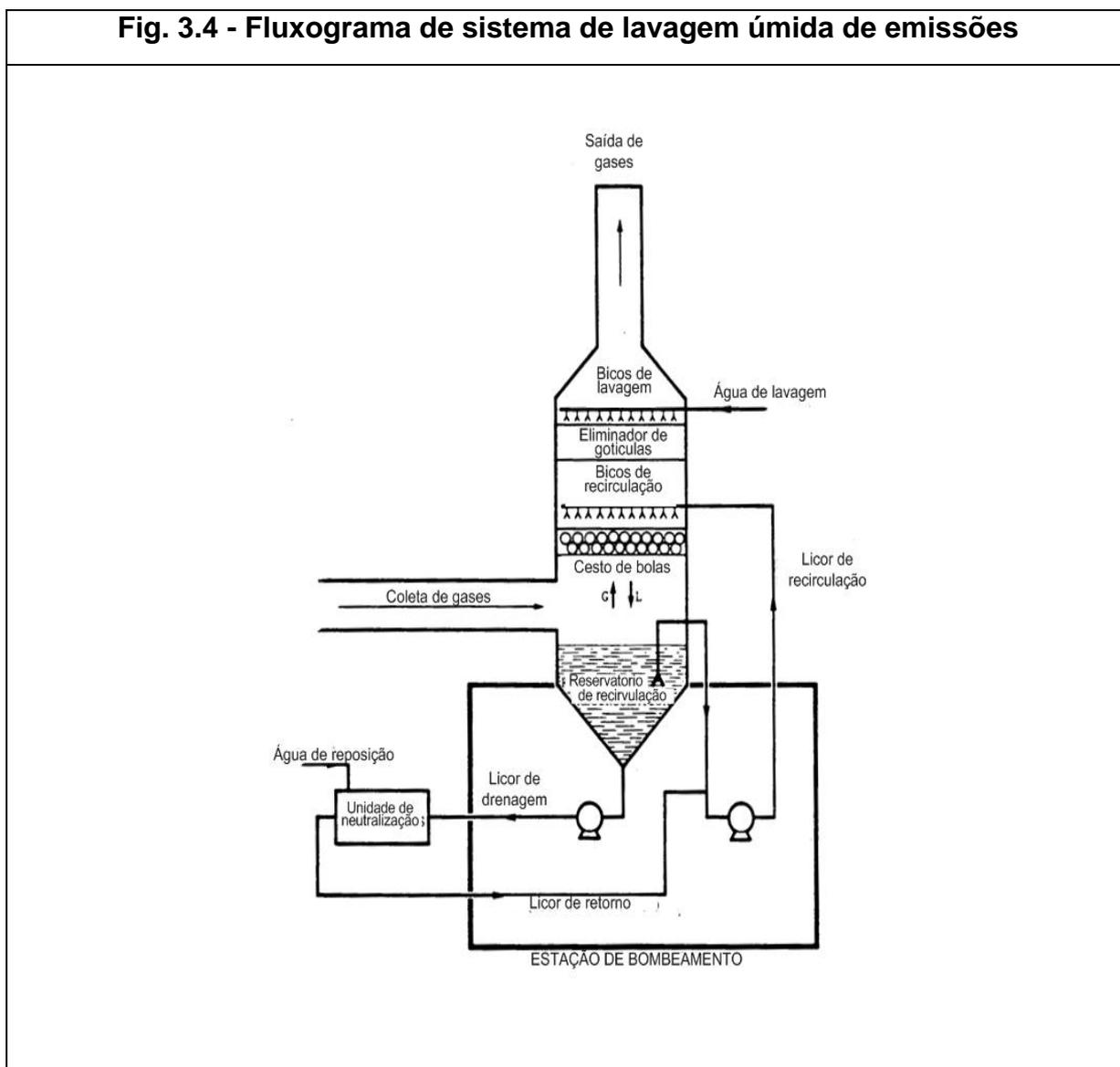
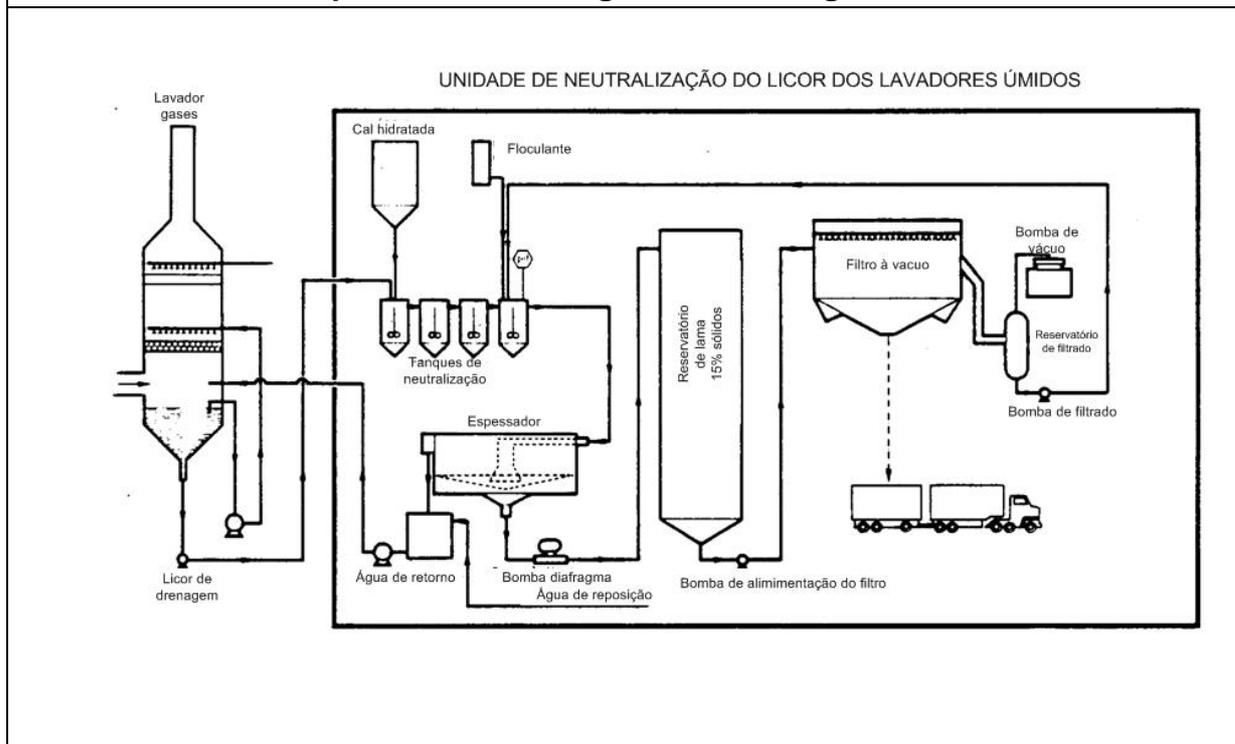



Fig. 3.5 - Fluxograma de unidade de neutralização de licores dos dispositivos primários de lavagem úmida de gases

3.4 *Dispositivos de controle de emissões secundárias*

Emissões secundárias de uma instalação de redução de alumina são as emissões que não são coletadas pelo sistema de captura de controle primário da cuba.

Na maioria das linhas de cubas, tais emissões escapam através do lanternim do telhado e são controladas pelos procedimentos de operação e manutenção, que serão discutidos na próxima seção.

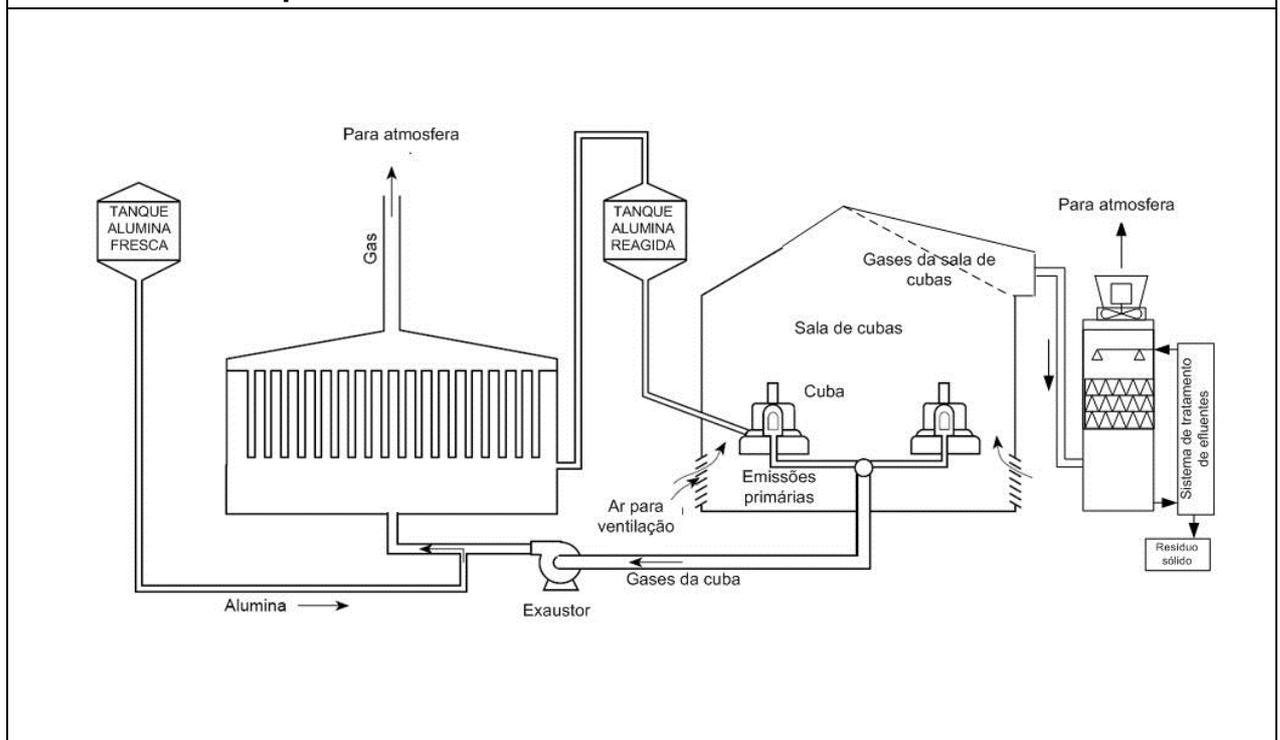
Quando o volume de emissões de uma instalação de redução de alumina excede a capacidade de recepção da bacia aérea onde o estabelecimento de produção de alumínio primário se localiza, justifica-se a instalação de sistema de controle de emissões secundárias. Este sistema secundário opera em conjunto com um sistema de controle primário, para se reduzir a carga de emissões das linhas de cubas, conforme mostrado na Figura 3.6.

O tratamento dos gases coletados pelo sistema de controle secundário é feito por lavagem úmida dos gases.

A eficiência de remoção de fluoreto total nos sistemas de controle de emissões secundárias varia de 50 a 80%.

Como em todo sistema úmido de lavagem, os contaminantes são removidos do sistema e devem ser neutralizados, gerando, neste processo, um resíduo sólido que deve ser disposto convenientemente.

O fluxograma de um sistema de neutralização de um sistema secundário de lavagem úmida de gases é semelhante ao sistema de neutralização de um sistema primário de lavagem úmida de gases e é mostrado na Figura 3.5.

Fig. 3.6 - Fluxograma típico de um sistema de lavagem de gases de emissões primárias e secundárias de uma sala de cubas.

3.5 Procedimentos operacionais de trabalho usados para controle das emissões

Os procedimentos operacionais podem ter um efeito direto sobre o controle das emissões de uma instalação de redução de alumina.

Os objetivos da fixação de procedimentos operacionais nas reduções de alumínio para controle das emissões visam melhorar e manter a captação de emissões pelo sistema primário e a redução das emissões secundárias.

A quantidade e a composição das emissões são fortemente influenciadas pelas condições operacionais, tais como:

- número, duração e frequência de abertura da superestrutura das cubas;
- temperatura e relação do banho eletrolítico;
- frequência e duração de efeitos anódicos;
- eficiência das máquinas que atuam nas cubas;
- métodos operacionais;
- grau de automação da cuba;
- eficiência de limpeza do piso operacional.

3.5.1 Controle de efeitos anódicos

Durante um efeito anódico, a voltagem da cuba aumenta a partir do seu valor normal, em torno de 4,5 volts, para 20-40 volts, e a corrente da linha é reduzida proporcionalmente, quando este fenômeno não é compensado na unidade de retificação da corrente elétrica.

Acredita-se que os efeitos anódicos ocorrem quando o conteúdo da alumina no banho é reduzido e um filme de gás se forma sob o anodo, o que provoca um aumento da resistência elétrica da cuba. O resultado é que a potência fornecida à cuba aumenta mais do que dez vezes. Este aumento é convertido em calor, que, por sua vez, aumenta a temperatura da cuba e do eletrólito. A maior temperatura da célula causa uma maior evolução de compostos de flúor.

Dependendo da rapidez com que o operador reage, um efeito anódico pode durar de um a quinze minutos. Fábricas com mecanização do rompimento da crosta e alimentação automática de alumina podem reduzir a quantidade de tempo que seria necessário para cancelar um efeito anódico.

A reposição do teor de alumina do eletrólito, antes de esta cair abaixo da concentração conhecida para causar um efeito anódico, pode reduzir a frequência desses eventos. Em alguns casos, com controle mais sofisticado, as cubas podem operar praticamente isentas de efeitos anódicos, que podem ocorrer a uma taxa de um por semana a um por dia, por cuba, nas fábricas com melhor controle.

3.5.2 Controle de temperatura e relação de banho

Quanto maior a temperatura do banho eletrolítico, mais os sais do banho irão evaporar e se incorporar às emissões da cuba. Temperaturas normais de funcionamento das cubas com uma relação de banho (isto é, a relação de fluoreto de sódio e fluoreto de alumínio) de cerca de 1,40 são entre 970°C e 980°C.

Os operadores devem prestar muita atenção na sala de cubas para impedir que elas cheguem a ter uma temperatura muito baixa, porque, neste caso, atinge-se o ponto próximo de congelamento do eletrólito. Uma cuba com temperatura baixa requer que sua voltagem seja aumentada, para que se aumente a geração de calor e a temperatura do banho.

Cubas “anormais” ou "doentes" são cubas com temperaturas superiores a 1000°C. Quando estas condições ocorrem, o banho é exposto ao ar e há um grande aumento de flúor nos gases da cuba. Embora seja desejável operar as cubas na temperatura mais baixa possível para minimizar as emissões de flúor, isto requer o treinamento dos operadores da sala de cubas.

A redução da relação de banho tende a aumentar a evolução dos gases de flúor nas emissões. No entanto, as fábricas têm atuado para aumentar a eficiência de corrente e para reduzir o consumo de energia e custos, baixando a relação de banho. Por outro lado, medidas são tomadas para se manter a integridade da camada de alumina que cobre o banho. A camada de alumina tem a capacidade de adsorver os gases de flúor e impedir a sua evolução para fora da cuba.

3.5.3 Mecanização e automação

A mecanização da quebra da crosta do banho da cuba e da alimentação de alumina e aditivos permite manter a cuba sob controle em uma faixa estreita de temperatura. O resultado é a temperatura menor na cuba, a quantidade e a duração menores dos efeitos anódicos e a redução do teor de fluoreto nas emissões.

A mecanização total das cubas permite que se aplique um computador de processo para monitorar as variáveis de controle e tomar ações corretivas, a fim de se corrigirem os desvios de diversas variáveis de processo. A alimentação de alumina e aditivos pode ser alterada em função das necessidades de cada cuba. Com o controle computadorizado, o número de cubas em condições anormais pode ser reduzido e, consequentemente, as emissões podem diminuir.

A justificativa econômica para a mecanização total das cubas pode ser mais facilmente dada para cubas com altas capacidades de corrente, pois o custo dos dispositivos será menor por tonelada produzida.

3.5.4 Manutenção e operação do sistema de captação das emissões

O projeto das cubas de tecnologia Soderberg ou de anodos pré-cozidos, independentemente da eficiência com que o enclausuramento seja mantido, não atinge 100% de eficiência da coleta de gases. A cuba precisa ser trabalhada para a

substituição dos pinos do anodo, ou substituição do anodo (anodos pré-cozidos), para inspeções e medições do processo, retirada de alumínio, etc. Nas cubas que não têm sistema automático de quebrada e adição de alumina e aditivos, a crosta do banho deve ser quebrada para a adição de alumina.

A fim de contribuir de modo significativo para a melhoria do controle das emissões, os operadores das salas de cubas devem prestar toda a atenção na manutenção dos sistemas de captação, reparando-os, quando necessário, e efetuando a abertura dos sistemas de enclausuramento somente quando estritamente necessário.

A eficiência na captura das emissões e ainda na das emissões secundárias que eventualmente escapem através do lanternim é função da qualidade do controle, da quantidade e duração da intervenção dos operadores na abertura do enclausuramento e da selagem das cubas.

Estes fatores estão sob o controle direto da operação da sala de cubas.

3.5.5 Procedimentos operacionais para controle de emissões

Várias fábricas desenvolveram procedimentos operacionais para controlar as emissões. Estes procedimentos incluem limites ao número de cubas que podem ser abertas a qualquer momento, inspeções periódicas dos sistemas de captação de emissões e substituição ou reparo dos dispositivos de coleta.

3.5.6 Oportunidades para prevenção da poluição

Como as emissões secundárias são as principais fontes das emissões totais do processo, as fábricas têm, na execução das melhores práticas operacionais de manutenção dos equipamentos e melhorias dos equipamentos, oportunidades para reduzir a saída de emissões secundárias e, assim, melhorar o controle das mesmas.

3.6 Situações transitórias de operação: partida, paradas, etc.

A Resolução Conama 382, no seu Art. 5°, § 2°, item III determina:

> ***"III - para efeito de verificação de conformidade da norma, serão desconsiderados os dados gerados em situações transitórias de operação tais como paradas ou partidas de unidades, quedas de energia, ramonagem, testes de novos combustíveis e matérias-primas, desde que não passem 2% do tempo monitorado durante***

um dia (das 0 às 24 horas). Poderão ser aceitos percentuais maiores que os acima estabelecidos no caso de processos especiais, onde as paradas e partidas sejam necessariamente mais longas, desde que acordados com o órgão ambiental licenciador;"

Na operação das linhas de cubas, existem situações especiais que merecem ser excluídas, pois são situações transitórias e não representam a situação normal do processo de produção de alumínio primário. Estas situações são a repartida de uma linha de cubas ou de um grupo de cubas existentes e parada e repartida de um catodo de cuba que foi reconstruído. Os detalhes destas situações transitórias estão descritos a seguir.

3.7 Repartida de uma linha de cubas ou de um grupo de cubas existentes

As linhas de cubas para produção de alumínio são fontes de emissão únicas, no sentido de que a referida fonte é constituída por um grande número (90 a 240 ou mais) de cubas eletrolíticas.

Em situações criticas de mercado, em razão do alto custo ou falta de suprimento de matérias-primas, devidas a greves, falhas em equipamentos, etc., o desligamento de uma linha de cubas ou de um grupo de cubas existentes pode ser necessário.

A eventual repartida desta linha de cubas é feita pela partida de um pequeno número de cubas onde são colocadas matérias-primas. Quando as cubas se tornam funcionais, elas fornecem um banho eletrolítico líquido, de alta temperatura, que é utilizado para a partida de cubas adicionais.

Todas as cubas não podem ser partidas e estabilizadas simultaneamente, porque o processo eletrolítico requer um equilíbrio estável entre o banho eletrolítico e as temperaturas de funcionamento. Até que este equilíbrio seja alcançado, as taxas de emissão a partir da linha de cubas não são representativas de uma operação normal. Por outro lado, o alumínio produzido é utilizado para formar o lastro de alumínio que é mantido nas cubas até o seu próximo desligamento e não é retirado da mesma. Portanto, até que o alumínio seja retirado da cuba, ele não pode ser pesado para fins de controle de produção e cálculo das emissões específicas de uma linha de cubas, tal como a emissão de fluoretos totais em quilogramas por tonelada de alumínio (kg/tal).

Por estas razões, a partida, a estabilização e as amostragens das emissões de uma linha de cubas já existente, após um longo prazo de desligamento, podem exigir até seis meses para ser concluídas.

Por isso, é necessário um tempo para a partida de fábricas novas e de linhas de cubas que foram desligadas por um longo período de tempo. O tempo proposto é de 180 dias, após a partida, para as linhas de cubas existentes serem colocadas em situação normal e terem suas emissões comparadas com os limites máximos de emissão estabelecidos pelos órgãos estaduais de controle, em sua licença de operação.

As unidades auxiliares não têm a mesma complexidade de partida das linhas de cubas e podem operar em condições normais após 45 dias de repartida, após um longo desligamento.

O empreendedor deve emitir um aviso prévio de repartida da linha de cubas e equipamentos auxiliares que foram desligados. Ele deve, também, assegurar que os equipamentos de controle de emissão estejam em funcionamento, além de tomar todas as medidas necessárias para minimizar as emissões, durante o processo de partida das cubas e equipamentos auxiliares.

3.7.1 Parada e repartida de um catodo de cuba que foi reconstruído

Como foi visto na seção 2.4, uma cuba é formada por um anodo e por um catodo. Uma linha de cubas é formada por uma quantidade de cubas que pode variar entre 90 e 240 ou mais cubas.

O anodo é consumido durante a vida da cuba e é reposto continuamente, no caso da tecnologia Soderberg, ou trocado ao fim de sua vida útil por novos anodos, como é o caso da tecnologia de anodos pré-cozidos.

No caso do catodo, tanto na tecnologia Soderberg quanto na de anodos pré-cozidos, existe um desgaste durante a operação da cuba, que pode variar de alguns dias a cerca de 7000 dias, mais tipicamente entre 2.000 a 7.000 dias. A vida do catodo depende do seu projeto, da técnica de construção, da capacidade de produção da cuba, dos tipos de matérias-primas utilizadas, etc.

No final da vida do catodo, os blocos de carbono que compõem a parte condutora que está em contato com o alumínio líquido se desgastam e há o início de desgaste das barras coletoras pelo alumínio fundido, que leva à contaminação do alumínio produzido pelo ferro existente nas barras coletoras. Nestas condições, que podem ser alcançadas logo após a partida da cuba por defeito de construção, a cuba deve ser desligada e o catodo reformado ou substituído.

Quando a cuba é retirada de produção para reforma do catodo, ela fica fora da linha de produção por um período de 5 a 15 dias, dependendo do tamanho da cuba e das práticas operacionais utilizadas para reparo ou reconstrução do catodo.

O processo de repartida da cuba, cujo catodo foi reformado ou reconstruído, segue a mesma sequência de partida de uma linha de cubas, referida no item anterior:

- banho eletrolítico deve ser retirado de uma outra cuba em funcionamento e adicionado ao novo catodo;
- adição de alumínio líquido após 24 horas da adição do banho e construção do lastro de alumínio, em o que alumínio não é retirado da cuba apesar de as outras matérias-primas serem adicionadas;
- durante este período, as estruturas que fazem a captação primária dos gases devem ser abertas para inspeção dos operadores e fechadas conforme práticas operacionais típicas de cada tecnologia, de modo a minimizar as emissões das cubas.

A operação normal da cuba, cujo catodo foi reformado ou reconstruído, pode levar cerca de 5 dias desde a repartida até o início da produção normal da cuba.

O sistema de monitoramento das emissões das cubas, conforme os métodos 14 ou 14 A da US-EPA, prevê que sejam instalados dispositivos de coleta de amostra dos gases que saem pelo lanternim do edifício da sala de cubas, em uma área mínima correspondente a 8% da área do edifício.

Se o catodo que foi repartido estiver no grupo de cubas do qual é feita a amostragem, esta deverá ser suspensa por até 5 dias, durante o processo de partida do catodo, porque apesar de estar em funcionamento, a cuba não está em processo de produção normal. Até que o equilíbrio operacional desta cuba seja alcançado, as taxas de emissão a partir da linha de cubas, que são medidas pela amostragem das emissões de um grupo de cubas no qual está inserida esta cuba, não são representativas de uma operação normal. Por outro lado, o alumínio produzido que é utilizado para formar o lastro de alumínio que é mantido nas cubas, até o seu próximo desligamento, não é retirado da mesma e, portanto, não pode ser pesado para fins de controle de produção e cálculo das emissões específicas de uma linha de cubas, tais como emissão de fluoretos totais em kilograma por tonelada de alumínio (kg/tal).

3.8 Ajuste do nível de produção em função dos custos dos insumos e condições de mercado

Quando uma linha de cubas é projetada, ela é dimensionada para uma capacidade de produção ótima e, para tanto, os equipamentos de manuseio e fornecimento de matérias-primas e controle de emissões são dimensionados.

No entanto, em algumas condições excepcionais de mercado, os preços de venda dos produtos, os custos das matérias-primas e os custos de produção podem variar para fora dos limites aceitáveis, tendo-se em vista a remuneração do capital empregado pelo empreendedor. A ocorrência de situações excepcionais pode forçar a um ajuste na produção, com o objetivo de se alcançarem condições econômicas ótimas.

Este ajuste do nível de produção pode ser efetuado pelo aumento ou diminuição da corrente elétrica da linha de cubas, número de cubas em operação, redução da corrente em horários de ponta do sistema elétrico, etc.

Se o ajuste tiver de ser feito com aumento ou diminuição significativa de corrente, será necessário realizar um experimento em um grupo de cubas. Este grupo passará a operar com a nova corrente, eventualmente fornecida por retificadores adicionais, e servirá para o desenvolvimento dos novos parâmetros operacionais das cubas, sob as novas condições de produção.

O volume de emissões de uma cuba ocorre em função do tamanho da cuba, cuja variável principal é a eficiência de captação das emissões. O tamanho de uma cuba está diretamente relacionado com o volume de produção, considerando cubas com a mesma densidade de corrente.

O relatório operacional, que é usado para o cálculo da produção, tem regras específicas para calcular a produção média de uma linha de cubas e fornece os dados para se calcularem as emissões específicas de um ciclo de produção. O cálculo do volume de produção é requerido pelos métodos de amostragem de chaminés e lanternim dos edifícios das salas de cubas.

Tanto durante os experimentos com novos níveis de corrente elétrica quanto com ajustes de corrente para adequar os custos de produção, os procedimentos operacionais garantem a manutenção da eficiência de coleta e da eficiência dos equipamentos de controle de emissões, típicos de cada tecnologia, de modo a garantir a emissão da linha de cubas dentro dos limites máximos fixados em sua licença de operação.

4 OPÇÕES DE CONTROLE DE EMISSÕES E MONITORAMENTO DO PROCESSO DE REDUÇÃO DA ALUMINA

No que se refere a como as fábricas que utilizam tecnologia de Anodos pré-cozidos poderão atender aos padrões para fontes novas (CONAMA nº 382/2006), foram desenvolvidos estudos apenas para fábricas existentes da indústria brasileira de alumínio primário com tecnologia Soderberg, para representar diferentes tipos de unidades de produção, dispositivos de controle e taxas de produção.

O tipo de tecnologia de produção é importante para a previsão de impactos, porque isto afeta a composição e a quantidade de emissões, bem como a escolha do dispositivo de controle e a maneira como ele é projetado e operado.

4.1 Instalações para redução de alumina com tecnologia Soderberg

A indústria brasileira de alumínio primário, com tecnologia Soderberg, é atualmente composta por 16 linhas de cubas localizadas em 4 fábricas. Existem 13 linhas de cubas com tecnologia VSS e 3 linhas de cubas com tecnologia HSS.

A taxa de produção destas fábricas ver Figura 2.1, baseada no volume de produção de 2009, varia conforme dois grupos distintos:

- Uma fábrica, com nove linhas de cubas com tecnologia VSS, com volume de produção acima de 120.000 tpa, representa 29,6% da produção brasileira.

- As outras fábricas, com volume de produção menor que 120.000 tpa, representam 13% da produção brasileira e operam 7 linhas de cubas, sendo 4 linhas com tecnologia VSS e 3 linhas com tecnologia HSS, totalizando 862 cubas eletrolíticas (fornos).

4.2 Opções de controle de emissões das instalações existentes

4.2.1 Instalações de redução de alumina

As opções de controle das emissões para as fábricas brasileiras de produção de alumínio primário existentes incluem a melhoria do sistema de controle primário e a redução das emissões secundárias que escapem pelo lanternim das salas de cubas.

Estas duas fontes de emissões associadas com as linhas de cubas são interligadas pelo fato de que um pequeno aumento na eficiência de captura das emissões das

cubas, pelo sistema de controle primário, resultará em uma grande diminuição nas emissões secundárias.

4.2.1.1 Controle das emissões primárias

O sistema de controle das emissões primárias de uma sala de cubas consiste no sistema de captação de gases na cuba, no sistema de dutos, e num dispositivo primário de controle da poluição do ar. Este sistema inclui vários dispositivos concebidos para remover principalmente fluoreto gasoso e material particulado que contém flúor e outras partículas e, em alguns casos, dióxido de enxofre.

O dispositivo mais comum e mais eficaz para o controle das emissões de fluoreto atualmente em uso é o sistema de lavagem a seco, utilizando alumina, com um sistema de filtro de mangas (*dry scrubber*).

Em condições ótimas de funcionamento, o sistema de lavagem a seco com alumina tem uma eficiência de controle de flúor total maior que 99%. Por conseguinte, são poucas as oportunidades para se aumentar a eficiência deste tipo de controle de emissões, ou de reduzir significativamente as emissões deste dispositivo de controle primário.
A opção de controle escolhida para reduzir a emissão dos sistemas de controle primário é a de substituir os atuais sistemas primários de lavagem úmida por um sistema de lavagem a seco e pela instalação de sistema de lavagem a seco na linha de cubas que atualmente só faz a dispersão dos gases.

Esta opção tem como objetivo atingir a eficiência do controle de emissões, alcançando a maioria das instalações existentes que já dispõem de lavadores a seco. Este dispositivo de controle captura as emissões de fluoretos e permite a possibilidade de retorno do flúor para o processo de produção (ou seja, não há qualquer resíduo gerado no controle das emissões).

4.2.1.2 Controle das emissões secundárias

A opção de controle de emissões secundárias inclui a instalação de lavadores úmidos para controle das emissões em fábricas com tecnologia Soderberg, com capacidade acima de 120.000 tpa. Nas fábricas com volume de produção menor que 120.000 tpa, existem várias opções. A principal é a melhoria das práticas operacionais e dos procedimentos de manutenção. Outras opções incluem o aumento da vedação da superestrutura das cubas (HSS) e a instalação de dispositivos de alimentação automática de alumina, além de outras melhorias (New Soderberg – VSS).

Como discutido em detalhes no capítulo 3, há numerosas atividades envolvendo procedimentos operacionais, condições de equipamentos e de operação das cubas que afetam a eficiência da captação do sistema primário, que, por sua vez, afetam diretamente a quantidade de emissões secundárias.

A maioria das plantas tem programas envolvendo o desenvolvimento e treinamento dos operadores nos procedimentos operacionais para trabalho nas cubas, processos de inspeção e programas de manutenção para o reparo ou a substituição dos sistemas de captação das emissões nas cubas. No entanto, o desempenho demonstrado nas melhores linhas de cubas indica que muitas plantas têm a capacidade de melhorar o seu programa de controle de emissões secundárias por meio do aumento da eficiência de captura do sistema de controle primário. O programa para a melhoria do controle das emissões secundárias inclui a otimização dos procedimentos operacionais, treinamento dos operadores, inspeções para avaliar as condições dos equipamentos, aderência aos procedimentos operacionais, reparo do sistema de captura das emissões e outras partes do sistema primário de captura, conforme necessário.

4.3 Opções para Monitoramento das Emissões

Os objetivos do monitoramento das emissões não é só garantir o cumprimento dos requisitos legais relativos aos limites máximos de emissão fixados pelos órgãos de licenciamento ambiental aos quais está submetido cada estabelecimento. Outro objetivo importante do monitoramento das emissões é acompanhar o desempenho dos sistemas de controle, o desempenho da operação das cubas e a manutenção dos sistemas de captação das emissões. O resultado do monitoramento fornece informações para a tomada de ações corretivas, sempre que houver um desvio das metas fixadas para a eficiência dos sistemas de controle das emissões.

As opções de monitoramento serão discutidas somente para as emissões das salas de cubas, tendo em vista que os demais processos são cobertos por procedimentos padronizados, determinados nas licenças de operação existentes.

As fábricas existentes realizam monitoramento das emissões com periodicidade definida de acordo com os condicionantes das licenças de operação emitidas pelos órgãos estaduais de controle ambiental.

As amostragens de fluoretos e materiais particulados das chaminés são realizadas de acordo com metodologia padronizada pela ABNT.

Fig. 4.1 - Lista de métodos de amostragem utilizados para monitoramento de fontes de emissões de fontes fixas.

Contudo, não há no Brasil métodos padronizados pela ABNT para amostragem das emissões do lanternim dos edifícios das salas de cubas. Em vista disto, a ABAL – Associação Brasileira do Alumínio está propondo a adoção de métodos da US-EPA. Por estes métodos, são estabelecidos dois procedimentos alternativos de amostragem e determinação de fluoretos totais nos lanternins das linhas de cubas, para a produção de alumínio primário - Métodos US-EPA-14 ou US-EPA-14 A.

5 IMPACTO AMBIENTAL E DE CONSUMO DE ENERGIA DAS APLICAÇÕES DAS OPÇÕES DE CONTROLE DE EMISSÕES

Este capítulo apresenta as estimativas do impacto da implantação das ações de controle nas emissões para o ar, na geração de resíduos sólidos e no consumo de energia, nas instalações de redução de alumina, em fábricas existentes que adotam a tecnologia Soderberg.

As estimativas são desenvolvidas a partir dos fatores de emissão da US-EPA e da expectativa de aumento da eficiência, com a implantação das ações previstas para o controle das emissões.

5.1 Instalações de redução da alumina

A primeira opção de controle das emissões de uma sala de cubas é garantir o máximo de eficiência da coleta das emissões na cuba.

Este controle pode ser implantado como mostrado na seção 4.2.1, tendo em vista a alta eficiência dos controles primários.

5.2 Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos gerados a partir do controle das emissões atmosféricas na indústria de alumínio primário são resultado direto do uso de sistemas de controle de emissões por via úmida e são gerados nos sistemas de tratamento dos efluentes.

Os sistemas de lavagem a seco utilizando alumina não geram resíduos sólidos, e todos os sólidos capturados são reciclados para o processo produtivo.

A geração de resíduos sólidos é estimada em 85 kg/t-Al nas instalações de lavagem úmida de controle primário.

5.3 Consumo de energia

O consumo de energia para controle das emissões é função do tipo de tecnologia de cubas usada no processo de produção, da capacidade de produção de cada cuba e do sistema de controle de emissões utilizado para controle primário e secundário.

Nas cubas HSS que necessitam de uma vazão muito alta por cuba, para manter a superestrutura sob pressão negativa e seu alto nível de captação de emissões, o sistema de exaustão primário é projetado para garantir uma vazão, por cuba, acima de 80 Nm^3/min. Isto resulta, por exemplo, em uma instalação, para 168 cubas, de 6 exaustores com capacidade de 240.000 Am^3/h, cada. Uma instalação deste tipo consome cerca de 20.000 MWh por ano ou 735 kwh/t-Al-ano.

Já uma linha de cubas VSS, cujo sistema de controle primário exige uma vazão muito menor que a utilizada em cubas HSS, tem um consumo de energia somente de cerca de 110 kwh/t-Al-ano.

6 CUSTOS DE CONTROLE DAS EMISSÕES E MONITORAMENTO

6.1 Custo de capital para controle das emissões primárias

O custo de capital para controle das emissões primárias é função do tipo da tecnologia de cubas usada no processo de produção, da capacidade de produção de cada cuba e do sistema de controle de emissões utilizado para controle primário.

Para uma sala de cubas com tecnologia HSS, cujo sistema típico de exaustão foi descrito no item 5.3, para instalação de um sistema de controle primário do tipo de leito fluidizado, foi estimado um custo de R$ 1.500/t-Al-ano. Este valor pode variar conforme a capacidade de produção da cuba e a vazão de exaustão, que por sua vez depende do nível de vedação da superestrutura da cuba. Para controle secundário de cubas com tecnologia VSS, é estimado em custo de R$ 600/t-Al-ano.

6.2 Custo operacional do sistema de controle primário

O custo operacional de um sistema de controle primário de emissões inclui o custo da energia, da mão de obra e da manutenção de equipamentos. Um custo significativo é o custo das mangas utilizadas nos filtros, dependendo da vazão do sistema de controle.

Em uma linha de cubas operando com tecnologia HSS, conforme detalhes mostrados no item 5.3, há um custo operacional estimado em 5 milhões de reais por ano,

considerando o custo médio de energia industrial na região Sudeste, em 2009, em R$ 227,00/MWh, conforme informações colhidas no site da Aneel.

7 PADRÕES DE EMISSÃO

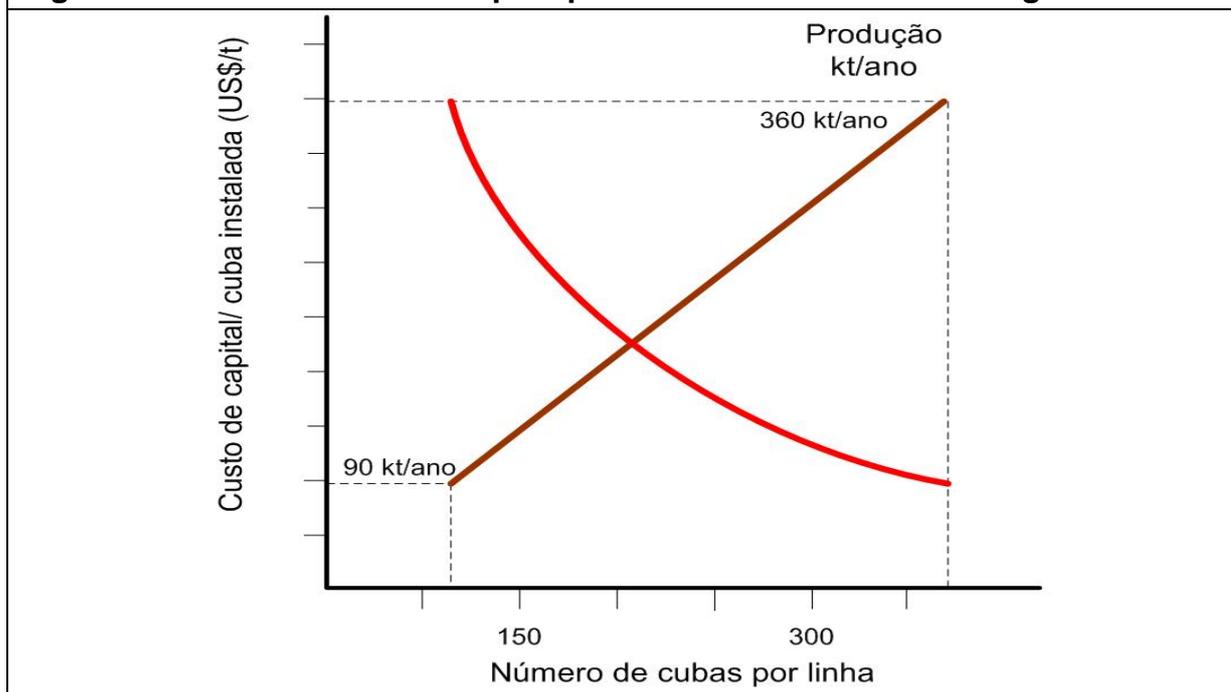
7.1 Inter-relacionamento entre fatores de emissão e carga poluidora

Com a edição da Resolução Conama 382/2006, que fixou limites máximos de emissão para empreendimentos novos, as novas fábricas a serem instaladas no Brasil tenderão a ser de tecnologia de anodos pré-cozidos, como está ocorrendo em outros países.

Para exemplo e comparação de emissões entre novas fábricas e fábricas existentes será usada, dentre as diversas tecnologias disponíveis, a tecnologia AP30, da Rio Tinto Alcan, desenvolvida pela Alumínio Pechiney.

Esta tecnologia é utilizada em cubas com anodos pré-cozidos e opera de 180-369 kA. Em 2007, 3858 cubas AP30 operavam no mundo, produzindo 3,7 milhões de toneladas de alumínio/ano, cerca de 9% da produção mundial. Esta cuba pode produzir até 2,7 t/cuba/dia.

A curva de custo de capital por cuba instalada, ilustrada na Figura 7.1, tirada do site da empresa Rio Tinto Alcan, mostra que o menor custo por cuba instalada ocorre com uma produção da ordem de 400.000 tpa de alumínio, o que indica que este é o módulo mínimo econômico para suportar os custos de controle de emissões para fontes novas.

Fig. 7.1 – Curva de custo de capital por cuba instalada na tecnologia AP30

8 PROPOSTA DE PADRÕES DE EMISSÃO PARA FÁBRICAS EXISTENTES NO BRASIL

8.1 Limites de emissão para fábricas existentes no Brasil

No Brasil, somente o INEA-RJ (antiga Feema) publicou requisitos legais sobre licenciamento e padrões de emissão especificamente para fábricas de alumínio de anodos pré-cozidos.

- DZ-0523.R-3 - Diretriz para licenciamento de indústrias que produzem alumínio primário pelo processo de redução eletrolítica em cubas do tipo anodo pré-cozido.
  Aprovada pela Deliberação CECA nº 649 de 16 de maio de 1985.
  Publicada no DOERJ de 03 de junho de 1985.

- NT-521.R-3 - Padrões de emissão para indústrias que produzem alumínio primário.
  Aprovada pela Deliberação CECA nº 650 de 16 de maio de 1985.
  Publicada no DOERJ de 10 de junho de 1985.

  Na Norma Técnica NT-521.R-3 foram fixados os seguintes padrões de emissão:

“2. <u>PADRÕES DE EMISSÃO</u>

2.1 *O somatório das emissões de todas as fontes de partículas orgânicas e inorgânicas deverá ser inferior a:*

a) *Uma emissão mensal média de 6,5 kg de partículas por tonelada de alumínio produzido e uma emissão anual média de 5,0 kg de partículas por tonelada de alumínio produzido, para <u>unidades com capacidade de até 100.000 toneladas anuais de alumínio primário.</u>*
b) Uma emissão mensal média de 6,0 kg de partículas por tonelada de alumínio produzido e uma emissão anual média de 4,5 kg de partículas por tonelada de alumínio produzido, para unidades com capacidade superior a 100.000 toneladas anuais de alumínio primário.

2.2 O somatório das emissões de todas as fontes de fluoretos deverá ser inferior a:

a) *Uma emissão mensal média de 1,75 kg de íon fluoreto por tonelada de alumínio produzido e uma emissão anual média de 1,25 kg de íon fluoreto por tonelada de alumínio produzido, para unidades com capacidade de até 100.000 toneladas anuais de alumínio primário.*

b) *Uma emissão mensal média de 1,50 kg de íon fluoreto por tonelada de alumínio produzido e uma emissão anual média de 1,00 kg de íon fluoreto por tonelada de alumínio produzido, para unidades com capacidade superior a 100.000 toneladas anuais de alumínio primário*.

2.3 As emissões visíveis deverão ser inferiores a 20% de opacidade em todas as fontes, exceto combustão sujeita aos padrões de enegrecimento de fumaça estabelecidos no MF-520.

Será tolerada opacidade de até 30% por 3 minutos em uma hora.

2.4 As emissões de cloro (Cl_2) não poderão exceder 3 mg/Nm^3 nos gases de saída do processo de refino do alumínio.

2.5 As emissões de cloretos inorgânicos não poderão exceder 30 mg/Nm^3 nos gases de saída do processo de refino do alumínio, expressos como íon cloreto (Cl^-).”

8.2 Padrões de emissão existentes em outros países

Os padrões de emissão para a indústria de alumínio primário existentes em outros países devem ser analisados considerando-se o volume de produção da indústria de alumínio primário naqueles países, os tipos de atividade existente nas áreas de impacto das fábricas e as tecnologias de produção empregadas.

No mundo, 45 países produziram, em 2008, aproximadamente 39 milhões de toneladas de alumínio primário, conforme dados do World Metal Statistics. O Brasil é o sexto maior produtor mundial de alumínio primário, precedido pela China, Rússia, Canadá, Estados Unidos e Austrália. Nas últimas décadas houve uma mudança na localização das fábricas de alumínio primário. Veja Figura 8.1. A produção mundial em 1980 era de 16 milhões de tpa.

Fig. 8.1 – PARTICIPAÇÃO (%) DOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO

PAÍSES	1980 % PRODUÇÃO MUNDIAL	2008 % PRODUÇÃO MUNDIAL
CHINA	2	33
RÚSSIA	-	11
CANADÁ	7	8
EUA	29	7
AUSTRÁLIA	2	5
BRASIL	2	4

Nestes países, o tamanho das fábricas exerce papel preponderante na fixação dos limites de emissão, tendo em vista a emissão total das fábricas, mesmo utilizando a melhor tecnologia disponível para controle das emissões. O volume de produção típico das fábricas varia de 200 a 1.000 mil toneladas por ano de alumínio, em um mesmo local.

Outro fator que exerce grande influência sobre a fixação dos limites de emissão é o relevo do terreno e o tipo de atividade exercido na vizinhança das fábricas. Nos países nórdicos, onde os vales estreitos são recobertos por pinheiros altamente sensíveis à ação do flúor, este fato determinou os baixíssimos limites de emissão fixados para as fábricas instaladas naquela região. O mesmo acontece em regiões de criação de gado ou produção de forragem, que determinam os padrões de emissão, tendo em vista o volume de produção das fábricas e o impacto de suas emissões na atividade econômica exercida na área em que se situam.

Nas Figuras 8.2 e 8.3 são mostrados padrões de emissão para fábricas existentes no Canadá e EUA. Na Província de *British* Columbia existe uma única fábrica de alumínio com tecnologia VSS, cujo limite de emissão para a redução de alumina é 7,5 kg/t alumínio.

FIG. 8.2 – PADRÕES DE EMISSÃO DO CANADÁ PARA FÁBRICAS DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO EXISTENTES

Regulation respecting the quality of the atmosphere
Environment Quality Act - Canada
(R.S.Q., c. Q-2, ss. 20, 31, 53, 70, 71, 72, 87 and 124.1)

Data de Entrada em Vigor	Material Particulado (kg/t)	Fluoretos Totais (kg/t)
A partir de Dezembro de 1981	22,5	5,0
Data subseqüente, valor a ser negociado com o órgão ambiental	12	2,5

Para o caso do Canadá, apresenta-se a seguir o exemplo da fábrica de Kitimat. Na figura seguinte, são apresentados o padrão de emissão e a *performance* da fábrica em 2008:

Fig. 8.3 – Emissões de Material Particulado total do Lanternim das Salas de Cubas – Kitimat – Canadá (não inclui as emissões primárias)

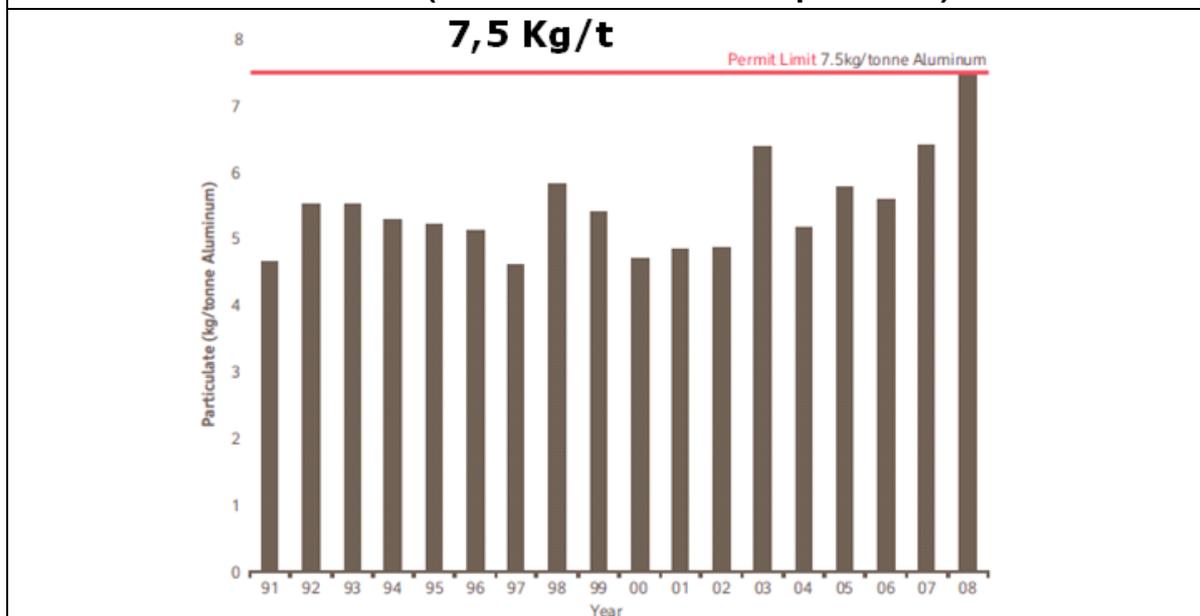



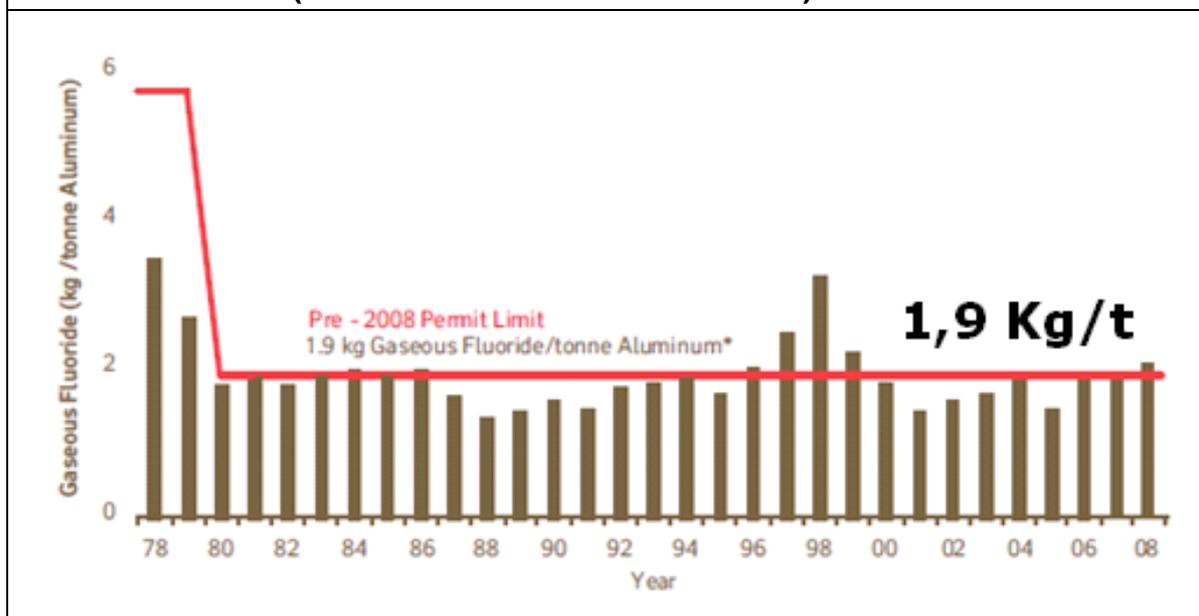
Fig. 8.4 – Emissões de fluoreto gasoso do lanternim das salas de cubas – Kitimat – Canadá (não inclui o Fluoreto Particulado)

Observa-se que os padrões estabelecidos e a performance das fábricas que usam a tecnologia Soderberg devem ser diferenciados da performance das que utilizam a tecnologia Prebaked. Os padrões canadenses para as emissões do lanternim das salas de cubas, medidos em Material Particulado Total e Fluoreto Gasoso somente do lanternim, são respectivamente 7,5 e 1,9 Kg/t de alumínio produzido.

FIG. 8.5 – PADRÕES DE EMISSÃO DOS EUA PARA FÁBRICAS DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO EXISTENTES

TF Emission Limits	
Potlines	0.95 kg/t of Al CWPB1
	1.5 kg/t of Al for CWPB2
	1.25 kg/t Al for CWPB3
	0.80 kg/t of Al for SWPB
	1 kg/t of Al for VSS1
	1.35 kg/t of Al for HSS

8.3 Proposta de padrões de emissão para fábricas existentes

8.3.1 Na Resolução Conama N° 382/2006, obtêm-se as seguintes considerações, dentre outras:

- *"Considerando que os Estados possuem níveis diferenciados de industrialização e de poluição do ar, cabendo aos órgãos ambientais estaduais e locais estabelecerem, quando for o caso, limites de emissão mais restritivos;*
- *Considerando que a determinação de limites nacionais de emissão atmosférica deve também levar em conta seu custo e o impacto deste nas economias regionais."*

8.3.2 Critérios mínimos para a fixação dos limites de emissão da Resolução Conama nº 382/2006 :

A Resolução Conama nº 382 fixou os seguintes critérios mínimos para fixação de limites de emissão:

"Art. 2° Para o estabelecimento dos limites de emissão de poluentes atmosféricos são considerados os seguintes critérios mínimos:

I - o uso do limite de emissões é um dos instrumentos de controle ambiental, cuja aplicação deve ser associada a critérios de capacidade de suporte do meio ambiente, ou seja, ao grau de saturação da região onde se encontra o empreendimento;

II - o estabelecimento de limites de emissão deve ter como base tecnologias ambientalmente adequadas, abrangendo todas as fases, desde a concepção, instalação, operação e manutenção das unidades bem como o uso de matérias primas e insumos;

III - adoção de tecnologias de controle de emissão de poluentes atmosféricos técnica e economicamente viáveis e acessíveis e já desenvolvidas em escala que permitam sua aplicação prática;

IV - possibilidade de diferenciação dos limites de emissão, em função do porte, localização e especificidades das fontes de emissão, bem como das características, carga e efeitos dos poluentes liberados; e

V - informações técnicas e mensurações de emissões efetuadas no País bem como o levantamento bibliográfico do que está sendo praticado no Brasil e no exterior em termos de fabricação e uso de equipamentos, assim como exigências dos órgãos ambientais licenciadores."

8.3.3 Proposta de padrões de emissão para fontes fixas de fábricas existentes de alumínio primário

A ABAL, Associação Brasileira de Alumínio, propõe os seguintes itens para estabelecimento dos limites de emissão, considerando os critérios mínimos estabelecidos pelo Art. 2º da Resolução Conama nº 382:

Ficam propostos, na Figura 8.6, a seguir, os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de produção de alumínio primário existentes em fábricas com capacidade de produção acima de 120.000 tpa.

Fig. 8.6 - Limites de emissão para fábricas de alumínio primário existentes com capacidade de produção acima de 120.000 toneladas por ano

Fontes de Emissão (Unidades de medida)	Limites Conama 382/2006		Limites de emissão para Fontes Existentes	
	Material Particulado	Fluoreto Total	Material Particulado	Fluoreto Total
Forno de Calcinação (kg/t Alumina)	2,00	N.A.	2,00	N.A.
Sala de Cubas (kg/t Al) [(2)]	4,8	1,10	4,80	1,15
Forno de Cozimento de Anodos (kg/t Equivalente Al)	0,2	0,15	0,50	0,20
Total da Redução (kg/t Al) [(1) (3) (4)]	5,0	1,25	5,00	1,25

(1) As emissões das fontes das salas de cubas e do forno de cozimento de anodos são limitadas pelos valores da tabela acima, desde que as emissões totais da Redução (sala de cubas + forno de cozimento de anodo) não ultrapassem os valores fixados na mesma tabela. A conformidade com o limite total será determinada através de medições realizadas no mesmo período de campanha para as fontes Salas de Cubas, incluindo o Sistema de Controle Primário, o lanternim e Fornos de Cozimento de Anodos.

(2) Soma das emissões da saída do sistema de controle primário e lanternim.

(3) A emissão total da redução compreende as emissões das Salas de Cubas e do Forno de Cozimento de Anodos.

(4) Os limites de emissão para empresa existente com tecnologia de anodos Soderberg, com capacidade superior a 120.000 tpa, serão estabelecidos pelo órgão ambiental licenciador, devendo os mesmos estar compatíveis com os limites fixados para o “Total da Redução”, desta tabela.

N.A. – Não Aplicável.

Fig. 8.7 - Limites de emissão para fábricas de alumínio primário existentes, com capacidade de produção menor que 120.000 toneladas por ano

Fontes de Emissão (Unidades de medida)	Limites para fontes existentes	
	Material Particulado	Fluoreto Total
Forno de Calcinação de Hidrato (kg/t Alumina)	2,00	N.A.
Sala de Cubas (1) (kg/t Al)	7,50	2,5

(1) soma das emissões da saída do sistema de controle primário e lanternim.
N.A. - Não Aplicável.

O prazo para atendimento aos limites de emissão estabelecidos, será de 2 (dois) anos para as fábricas de alumínio, com tecnologia de anodos pré-cozidos e de 10 (dez) anos para as fábricas com tecnologia de anodos Soderberg, com capacidade abaixo de 120 mil tpa, a contar a partir da publicação desta Resolução, salvo prazos já estipulados em acordos firmados com órgãos ambientais licenciadores.

8.3.4 Justificativas para a proposta da ABAL para padrões de emissão para fábricas de alumínio primário existentes

Critérios mínimos da Resolução CONAMA nº 382

Os critérios mínimos para se fixarem os limites de emissão estabelecidos pelo Art. 2º. da Resolução Conama nº 382 determinam a possibilidade de diferenciação dos limites de emissão, em função do porte, da localização e das especificidades das fontes de emissão, bem como das características, da carga e dos efeitos dos poluentes liberados e ainda que o uso do limite de emissões é um dos instrumentos de controle ambiental cuja aplicação deve ser associada a critérios de capacidade de suporte do meio ambiente, ou seja, ao grau de saturação da região onde se encontra o estabelecimento;

Perfil do volume de produção das fábricas brasileiras existentes

Em 2009, as fábricas com tecnologia de anodos pré-cozidos, com volumes de produção acima de 120.000 tpa, representaram cerca de 57,8% do volume de produção de alumínio primário no Brasil.

De acordo com a proposta acima, estas fábricas adotarão, a partir de 2012, o mesmo padrão de emissão de fábricas novas de alumínio primário, fixados pela Resolução Conama nº 382, utilizando o total de emissões para verificação da conformidade com os limites máximos de emissão, conforme item 8.3.3.

As fábricas com tecnologia Soderberg com volume de produção menores que 120.000 tpa, representando 13% da produção de alumínio primário no Brasil, em 2009, são fábricas com carga de emissão muito menores que as fábricas existentes com capacidade de produção acima de 120.000 tpa. Estas fábricas são mais antigas e precisam de mais tempo para adequar suas práticas operacionais e realizar os investimentos necessários a fim de atingirem os limites de emissão propostos. A única fábrica de alumínio com tecnologia Soderberg, com capacidade acima de 120.000 tpa tem um TAC (Termo de Ajustamento de Conduta) assinado com o Órgão de Controle Ambiental Estadual que prevê a instalação de tratamento de gases e emissões fugitivas de todas as linhas de fornos.

Fig. 8.8 - Investimentos realizados para atendimento das legislações estaduais existentes

Empresas	US$ histórico
Empresa A	9.459.762
Empresa B	85.200.000
Empresa C	58.829.257
Empresa D	380.000.000
Empresa E	62.000.000
Total	**595.489.019**

Fig. 8.9 - Investimentos a serem realizados para atingir os limites de emissão atmosférica propostos, em um período de 10 anos	
Empresas	**US$**
Empresa A	n.d.
Empresa B	49.500.000
Empresa C	94.413.000
Empresa D	n.d.
Empresa E	30.000.000
Total	**173.913.000**

n.d. – não disponível

Fig. 8.10 - Ganhos ambientais resultantes da aplicação dos limites de emissão atmosférica propostos, baseados nas emissões atuais		
Empresas	**Parâmetro**	**% Redução emissões atuais**
EMPRESA A	MATERIAL PARTICULADO	n.d.
	FLUORETO TOTAL	n.d.
EMPRESA B	MATERIAL PARTICULADO	65%
	FLUORETO TOTAL	74%
EMPRESA C	MATERIAL PARTICULADO	n.d.
	FLUORETO TOTAL	n.d.
EMPRESA D	MATERIAL PARTICULADO	n.d.
	FLUORETO TOTAL	n.d.
EMPRESA E	MATERIAL PARTICULADO	70%
	FLUORETO TOTAL	75%

n.d. – não disponível

Fixação dos limites de emissão a serem alcançados em 2020

A fixação dos limites de emissão conforme proposto se justifica pelos seguintes motivos:

1. As fábricas de alumínio primário existentes terão, inicialmente, de adequar seus sistemas de monitoramento às normas a serem estabelecidas pelo CONAMA para estas fábricas. Elas devem identificar as possíveis fontes

de emissão acima dos limites máximos fixados, desenvolver projetos e realizar investimentos para a adequação destas fontes.

2. Os investimentos necessários para adaptar as fábricas existentes aos novos limites propostos devem ser distribuídos em um período que possa ser suportado pela capacidade de investimento das empresas. Daí a necessidade de colocar o nível mais restritivo dos limites de emissão para 2020. Em outros países, como o Canadá, foi fixado um limite de emissão em dezembro de 1981 e o outro nível mais restritivo só seria exigido em data a ser negociada, possivelmente, 2015. Com este cronograma, de mais de 30 anos de prazo, as empresas puderam planejar seus investimentos, tendo inclusive ocorrido o fechamento de algumas fábricas, cujos investimentos para adequação aos novos limites de emissão não se justificavam economicamente.

Valores dos limites de emissão

A fixação dos limites propostos se justifica porque algumas das fábricas existentes no Brasil tiveram suas tecnologias oriundas do Canadá, onde os limites para fábricas de alumínio primário existentes são semelhantes aos propostos. Deve ser observado que os limites são os adequados para as tecnologias de cubas VSS e HSS, cujos fatores de emissão foram mostrados no item 2.5 deste documento. Os estabelecimentos existentes com tecnologia Soderberg precisam de um tempo adequado para realizarem as modificações do processo e das instalações de novos equipamentos, a fim de atingirem os limites máximos de emissão propostos. Os órgãos estaduais de meio ambiente, no processo de renovação de licenças ambientais destes estabelecimentos, poderão, mediante decisão fundamentada e no caso de a capacidade de suporte da bacia aérea da região ser excedida, determinar limites de emissão mais restritivos.

9 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

9.1 Environmental Aspects of Aluminum Smelting – UNEP – Industry & Environment Review Series – Volume 3, 1981;

9.2 Primary Aluminum Industry: Technical Support Document - Proposed MACT Standards, U.S Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Standards Division, July 1996;

9.3 BACKGROUND REPORT - AP-42 SECTION 12.1 PRIMARY ALUMINUM Prepared for U.S. Environmental Protection Agency OAQPS/TSD/EIB Research Triangle Park, NC 27711 November 12, 1998, Pacific Environmental Services, Inc. P.O. Box 12077 Research Triangle Park, NC 27709919/941-0333;

9.4 Environmental Protection Agency, 40 CFR Parts 9, 60, and 63, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories; National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Aluminum Reduction Plants; Final Rule;

9.5 AlcanPrimary Metal British Columbia - Annual Environmental Report - 2006

ANEXO I

DEFINIÇÃO DE TERMOS, UNIDADES DE MEDIDAS E FORMA OBRIGATÓRIA DE EXPRESSÃO DE RESULTADOS

1. DEFINIÇÕES EXISTENTES NA RESOLUÇÃO CONAMA nº 382

Art. 3º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - definições referentes às fontes de emissão:

a) **capacidade de suporte:** a capacidade da atmosfera de uma região receber os remanescentes das fontes emissoras de forma a serem atendidos os padrões ambientais e os diversos usos dos recursos naturais;
b) **controle de emissões:** procedimentos destinados à redução ou à prevenção da liberação de poluentes para a atmosfera;
c) **emissão:** lançamento na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa;
d) **emissão fugitiva**: lançamento difuso na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte desprovida de dispositivo projetado para dirigir ou controlar seu fluxo;
e) **emissão pontual:** lançamento na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte provida de dispositivo para dirigir ou controlar seu fluxo, como dutos e chaminés;
f) **equipamento de controle de poluição do ar:** dispositivo que reduz as emissões atmosféricas;
g) **fonte fixa de emissão**: qualquer instalação, equipamento ou processo, situado em local fixo, que libere ou emita matéria para a atmosfera, por emissão pontual ou fugitiva;
h) **limite máximo de emissão-LME:** quantidade máxima de poluentes permissível de ser lançada para a atmosfera por fontes fixas; e
i) **prevenção à geração da poluição**: conceito que privilegia a atuação sobre o processo produtivo, de forma a minimizar a geração de poluição, eliminando ou reduzindo a necessidade do uso de equipamento de controle, também conhecido como as denominações de Prevenção à Poluição e Produção mais Limpa.

II - definições referentes aos poluentes que não possuem característica química definida:

a) **compostos orgânicos voláteis:** compostos orgânicos que possuem ponto ebulição de até 130ºC na pressão atmosférica e podem contribuir na formação dos oxidantes fotoquímicos;
b) **enxofre reduzido total-ERT**: compostos de enxofre reduzido, medidos como um todo, referindo-se principalmente ao gás sulfídrico e às mercaptanas, expresso como dióxido de enxofre (SO2);
c) **material particulado- MP**: todo e qualquer material sólido ou líquido, em mistura gasosa, que se mantém neste estado na temperatura do meio filtrante, estabelecida pelo método adotado;
d) **NOx**: refere-se à soma das concentrações de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO2), sendo expresso como (NO2); e
e) **SOx**: refere-se à soma das concentrações de dióxido de enxofre (SO2) e trióxido de enxofre (SO3), sendo expresso como (SO2).

III - definições referentes às unidades e forma obrigatória de expressão de resultados:

a) **concentração**: relação entre a massa de um poluente e o volume em que ele está contido (C = m/V), devendo ser sempre relatada em miligramas por normal metro cúbico(Nm^3), isto é, referido às condições normais de temperatura e pressão (CNTP), em base seca e, quando aplicável, na condição referencial de oxigênio estabelecida, utilizando-se sempre a notação - mg/Nm^3, CNTP – Condições Normais de Temperatura e Pressão:
Pressão = 1013 mBar (correspondente a 1 atmosfera ou 760 mmHg); e
Temperatura = 273 K (correspondente a 0°C).

b) **conversão às condições referenciais de oxigênio:** a conversão da concentração medida para a condição referencial de oxigênio é apresentada abaixo, não sendo aplicável quando ocorrer injeção de oxigênio puro no processo:

$$C_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * C_M$$

, sendo:

CR - Concentração do poluente corrigida para a condição estabelecida nesta Resolução;

OR - Percentagem de oxigênio de Referência, conforme esta Resolução; estabelecida para cada fonte fixa de emissão, OM - Percentagem de oxigênio medido durante a amostragem;

CM - Concentração do poluente determinada na amostra;

c) **fator de emissão:** o valor representativo que relaciona a massa de um poluente específico lançado para a atmosfera com uma quantidade específica de material ou energia processado, consumido ou produzido (massa/unidade de produção); e

d) **taxa de emissão:** o valor representativo que relaciona a massa de um poluente específico lançado para a atmosfera por unidade de tempo (massa/tempo) exemplo kg/h, g/s.

2. LISTA DE DEFINIÇÕES DE TERMOS CONSTANTES DO ANEXO IX - LIMITES DE EMISSÃO PARA POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE PROCESSOS DA INDÚSTRIA DE ALUMÍNIO PRIMÁRIO- DN 382/2006

a) **lanternim:** abertura de ventilação no topo, ao longo da extensão da sala de fornos, por onde escapam as emissões não captadas pelo sistema de exaustão dos fornos;

b) **sala de cubas**: é o conjunto de células eletrolíticas (cubas ou fornos) para a obtenção do alumínio primário, instaladas em um mesmo prédio;

c) **cuba**: é um forno (ou célula eletrolítica) para obtenção do alumínio primário, através de eletrólise da alumina diluída em um banho líquido de sais;

d) **forno de cozimento de anodo**: equipamento onde se aquece a mistura de coque de petróleo e piche compactada na forma de bloco anódico, para promover o cozimento do anodo, resultando em um material com propriedades adequadas ao uso na cuba;

e) **forno de calcinação de hidrato**: equipamento utilizado para eliminação da água de cristalização do hidrato - Al(OH)3 – Al2O3 .3H2O e produção de alumina estável, atingindo temperaturas da ordem de 1000 - 1350ºC. Usam-se fornos calcinadores rotativos ou verticais, alimentados com óleo combustível ou gás;

f) **produção equivalente de alumínio**: é a quantidade de alumínio produzido com uma tonelada de anodo. Deverá ser adotado o valor de 1,7 toneladas de alumínio por tonelada de anodo ou, a critério do órgão ambiental licenciador, um valor mais restrito. Esse fator deve ser utilizado para o cálculo das emissões resultantes do forno de cozimento de anodos. Para o caso de fábrica de anodo independente, ou com produção além do consumo das linhas de redução associadas, esse fator deve ser utilizado na obtenção do valor da emissão ponderada por tonelada de metal.

3. DEFINIÇÕES DE TERMOS ADICIONAIS USADOS NESTE DOCUMENTO:

a) **Cubas de anodos pré-cozidos:** são cubas que utilizam múltiplos anodos que são moldados e cozidos, em outras instalações, antes do seu consumo nas cubas;

b) **Cubas de anodos Soderberg**: são cubas que utilizam um único e contínuo anodo que é moldado e cozido *in-situ*. Podem ser do tipo HSS ou VSS;

c) **CWPB (Center Worked Prebaked):** são cubas de anodos pré-cozidos, para redução de alumina, para produção de alumínio primário, em que a alimentação de alumina é feita pelo centro da cuba;

d) **Emissões primárias**: as emissões que saem do sistema de controle primário.

e) **Emissões secundárias**: emissões fugitivas que não são capturadas pelo sistema de controle primário e que são emitidas através do lanternim das salas de cubas;

f) **HSS (Horizontal Stud Soderberg):** Cubas de pinos horizontais para redução de alumina, usando o processo Soderberg para produção de alumínio primário, no qual a corrente elétrica é introduzida no anodo por barras de aço (pinos) inseridas na lateral de um anodo monolítico;

g) **Linha de cubas**: conjunto de uma ou mais salas de cubas, nas quais as cubas estão conectadas em série, formando um circuito elétrico, para produção de alumínio primário;

h) **Redução de alumina:** significa qualquer instalação para fabricação de alumínio primário pela redução eletrolítica da alumina;

i) **Sistema de controle das emissões primárias**: conjunto de equipamentos e dutos utilizados para capturar os gases e as partículas diretamente das cubas de redução de alumina e os dispositivos de controle de emissões, utilizados para remover os poluentes, antes da descarga dos gases limpos para a atmosfera;

j) **VSS (Vertical Stud Soderberg)**: Cubas de pinos verticais, para redução de alumina, usando o processo Soderberg, para produção de alumínio primário, em que a corrente elétrica é introduzida para o anodo por barras de aço (pinos) inseridos no topo do anodo monolítico.